



IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

PATENT

Application No.: 10/643,017  
Filing Date: August 15, 2003  
Applicants: Yoshiaki Kisaka, et al.  
Group Art Unit: Unknown  
Examiner: Unknown  
Title: Polarization Mode Dispersion Compensation Method and  
Polarization Mode Dispersion Compensation Device  
Attorney Docket: 5259-000030/01

---

Director of Patents and Trademarks  
Mail Stop Provisional Patent Application  
Alexandria, VA 22313-1450

**LETTER TO OFFICE OF INITIAL PATENT APPLICATION EXAMINATIONS**

Sir/Madam:

We enclose a certified copy of the Priority Document No. 2002-237490 and request that you place this document in the above-referenced patent application file.

Respectfully submitted,

Dated: Jan 12, 2004

By: Greg Stobbs  
Gregory A. Stobbs  
Reg. No. 28,764

HARNESS, DICKEY & PIERCE, P.L.C.  
P.O. Box 828  
Bloomfield Hills, Michigan 48303  
(248) 641-1600

01-13-00

HDP/SB/21 based on PTO/SB/21 (08-00)

Please type a plus sign (+) inside this box → ☐

# TRANSMITTAL FORM

(to be used for all correspondence after initial filing)

<b>TRANSMITTAL FORM</b> (to be used for all correspondence after initial filing)	<b>Application Number</b>	10/643,017
	<b>Filing Dat</b>	August 15, 2003
	<b>First Named Inventor</b>	Yoshiaki Kisaka, et al.
	<b>Group Art Unit</b>	
	<b>Examiner Name</b>	
<b>Total Number of Pages in This Submission</b>		<b>Attorney Docket Number</b> 5259-000030/01

## ENCLOSURES (check all that apply)

<input type="checkbox"/> Fee Transmittal Form <input type="checkbox"/> Fee Attached <input type="checkbox"/> Amendment / Response <input type="checkbox"/> After Final <input type="checkbox"/> Affidavits/declaration(s) <input type="checkbox"/> Extension of Time Request <input type="checkbox"/> Express Abandonment Request <input type="checkbox"/> Information Disclosure Statement <input checked="" type="checkbox"/> Certified Copy of Priority Document(s) <input type="checkbox"/> Response to Missing Parts/Incomplete Application <input type="checkbox"/> Response to Missing Parts under 37 CFR 1.52 or 1.53	<input type="checkbox"/> Assignment Papers (for an Application) <input type="checkbox"/> Drawing(s) <input type="checkbox"/> Licensing-related Papers <input type="checkbox"/> Petition <input type="checkbox"/> Petition to Convert to a Provisional Application <input type="checkbox"/> Power of Attorney, Revocation Change of Correspondence Address <input type="checkbox"/> Terminal Disclaimer <input type="checkbox"/> Request for Refund <input type="checkbox"/> CD, Number of CD(s) _____	<input type="checkbox"/> After Allowance Communication to Group <input type="checkbox"/> Appeal Communication to Board of Appeals and Interferences <input type="checkbox"/> Appeal Communication to Group (Appeal Notice, Brief, Reply Brief) <input type="checkbox"/> Proprietary Information <input type="checkbox"/> Status Letter <input checked="" type="checkbox"/> Other Enclosure(s) (please identify below): <b>Return Postcard; Letter to USPTO re: Priority Document</b>
<b>Remarks</b> The Commissioner is hereby authorized to charge any additional fees that may be required under 37 CFR 1.16 or 1.17 to Deposit Account No. 08-0750. A duplicate copy of this sheet is enclosed.		

## SIGNATURE OF APPLICANT, ATTORNEY, OR AGENT

<b>Firm or Individual name</b>	Harness, Dickey & Pierce, P.L.C.	<b>Attorney Name</b>	Gregory A. Stobbs	<b>Reg. No.</b>	28,764
<b>Signature</b>					
<b>Date</b>	January 12, 2004				

## CERTIFICATE OF MAILING/TRANSMISSION

I hereby certify that this correspondence is being deposited with the United States Postal Service as express mail in an envelope addressed to: Director of the U.S. Patent and Trademark Office, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450, or facsimile transmitted to the U.S. Patent and Trademark Office on the date indicated below.			
<b>Typed or printed name</b>	Valeri L. Mangindin	<b>Express Mail Label No.</b>	EV 406 075 762 US
<b>Signature</b>		<b>Date</b>	January 12, 2004

EV 406 075 762 US

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日                      2 0 0 2 年    8 月 1 6 日  
Date of Application:

出 願 番 号                      特 願 2 0 0 2 - 2 3 7 4 9 0  
Application Number:

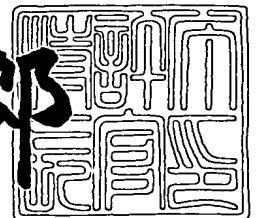
[ST. 10/C] :                      [ J P 2 0 0 2 - 2 3 7 4 9 0 ]

出      願      人                      日 本 電 信 電 話 株 式 会 社  
Applicant(s):

2 0 0 3 年    7 月    9 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

太田信一郎



【書類名】 特許願

【整理番号】 NTTH145659

【提出日】 平成14年 8月16日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G02B 6/27

【発明の名称】 偏波モード分散補償方法及び偏波モード分散補償装置

【請求項の数】 29

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

    【氏名】 木坂 由明

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

    【氏名】 富沢 将人

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

    【氏名】 宮本 裕

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

    【氏名】 平野 章

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

    【氏名】 桑原 昭一郎

## 【特許出願人】

【識別番号】 000004226

【氏名又は名称】 日本電信電話株式会社

## 【代理人】

【識別番号】 100064908

【弁理士】

【氏名又は名称】 志賀 正武

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100108453

【弁理士】

【氏名又は名称】 村山 靖彦

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100118913

【弁理士】

【氏名又は名称】 上田 邦生

## 【手数料の表示】

【予納台帳番号】 008707

【納付金額】 21,000円

## 【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0104910

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 偏波モード分散補償方法及び偏波モード分散補償装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光信号を送信する光送信器と、前記光送信器と接続され、前記光信号を伝送する光伝送路と、前記光伝送路を介して前記光送信器と接続され、前記光信号を受信する光受信器とから構成される光伝送システムにおける偏波モード分散の補償方法において、

前記光送信器が、前記光信号を前記光伝送路に送信し、

前記光伝送路を伝搬する信号光から、前記光伝送路の偏波主軸に平行な偏波成分、または垂直な偏波成分を分離し、

前記分離した偏波成分の群速度分散を補償し、

前記光受信器が、前記補償された信号光を受信する

ことを特徴とする偏波モード分散補償方法。

【請求項 2】 光信号を送信する光送信器と、前記光送信器と接続され、前記光信号を伝送する光伝送路と、前記光伝送路を介して前記光送信器と接続され、前記光信号を受信する光受信器とから構成される光伝送システムにおける偏波モード分散の補償方法において、

前記光送信器が、前記光信号を前記光伝送路に送信し、

前記光伝送路を伝搬した信号光から、前記光伝送路の偏波主軸に平行な偏波成分と垂直な偏波成分に分離し、

前記分離した一方の偏波成分の群速度分散を補償し、

前記光受信器が、前記補償された信号光を受信する

ことを特徴とする偏波モード分散補償方法。

【請求項 3】 光信号を送信する光送信器と、前記光送信器と接続され、前記光信号を伝送する光伝送路と、前記光伝送路を介して前記光送信器と接続され、前記光信号を受信する光受信器とから構成される光伝送システムにおける偏波モード分散の補償方法において、

前記光送信器が、前記光信号を出力し、

前記光信号の入力を受けて、前記光信号を円偏波もしくは直線偏波に変換し、

前記変換された光信号を前記光伝送路に送信し、

前記光伝送路の受信側において、前記光伝送路と接続されるPMD媒体を予め設け、前記光伝送路と、前記PMD媒体との偏波主軸が直線偏波もしくは円偏波になるように構成された前記光伝送路及び前記PMD媒体を伝搬した信号光から、前記光伝送路及び前記PMD媒体の偏波主軸に平行な偏波成分、または垂直な偏波成分を分離し、

前記分離した偏波成分の群速度分散を補償し、

前記光受信器が、前記補償された信号光を受信することを特徴とする偏波モード分散補償方法。

【請求項4】 光信号を送信する光送信器と、前記光送信器と接続され、前記光信号を伝送する光伝送路と、前記光伝送路を介して前記光送信器と接続され、前記光信号を受信する光受信器とから構成される光伝送システムにおける偏波モード分散の補償方法において、

前記光送信器が、前記光信号を出力し、

前記光信号の入力を受けて、前記光信号を円偏波もしくは直線偏波に変換し、

前記変換された光信号を前記光伝送路に送信し、

前記光伝送路の受信側において、前記光伝送路と接続されるPMD媒体を予め設け、前記光伝送路と、前記PMD媒体との偏波主軸が直線偏波もしくは円偏波になるように構成された前記光伝送路及び前記PMD媒体を伝搬した信号光から、前記光伝送路及び前記PMD媒体の偏波主軸に平行な偏波成分と垂直な偏波成分に分離し、

前記分離した偏波成分の群速度分散を補償し、

前記光受信器が、前記補償された信号光を受信することを特徴とする偏波モード分散補償方法。

【請求項5】 前記信号光から分離された偏波成分は、前記偏波成分を電気信号に変換された際の直流成分に対する特定周波数成分の比が最大になるように制御され、前記偏波主軸に平行な偏波成分と垂直な偏波成分に分離される

ことを特徴とする請求項1から請求項4のいずれかの項に記載の偏波モード分散補償方法。

【請求項 6】 前記信号光の前記光伝送路の偏波主軸に平行な偏波成分と垂直な偏波成分は、それぞれ電気信号に変換され、特定周波数成分の強度が互いに等しくなるように制御され、前記偏波主軸に平行な偏波成分と垂直な偏波成分に分離される

ことを特徴とする請求項 2 または請求項 4 に記載の偏波モード分散補償方法。

【請求項 7】 前記信号光の前記光伝送路の偏波主軸に平行な偏波成分と垂直な偏波成分は、該 2 つの直行する平行な偏波成分と垂直な偏波成分との位相差が最大になるように制御され、前記偏波主軸に平行な偏波成分と垂直な偏波成分に分離される

ことを特徴とする請求項 2 または請求項 4 に記載の偏波モード分散補償方法。

【請求項 8】 前記信号光の前記光伝送路の偏波主軸に平行な偏波成分と垂直な偏波成分は、それぞれ電気信号に変換され、それぞれの高周波成分が除去された後、該 2 つの直行する平行な偏波成分と垂直な偏波成分との位相差が最大になるように制御され、前記偏波主軸に平行な偏波成分または垂直な偏波成分に分離される

ことを特徴とする請求項 7 に記載の偏波モード分散補償方法。

【請求項 9】 前記信号光の前記光伝送路の偏波主軸に平行な偏波成分と垂直な偏波成分は、それぞれの信号パターンが特定の規則に従ってパターン変換された後、該 2 つの直行する平行な偏波成分と垂直な偏波成分との位相差が最大になるように制御され、前記偏波主軸に平行な偏波成分または垂直な偏波成分に分離される

ことを特徴とする請求項 7 に記載の偏波モード分散補償方法。

【請求項 10】 前記光送信器は、前記信号光に所定の符号を付与して送信し

前記光受信器は、前記信号光を受信して、前記符号の誤りを検出し、

前記光伝送路を伝搬する信号光から分離される偏波成分は、前記光受信器において検出される誤り数が最小となるように制御される

ことを特徴とする請求項 1 から請求項 4 のいずれかの項に記載の偏波モード分散補償方法。

【請求項 11】 前記光送信器は、前記信号光に所定の誤り訂正符号を付与して送信し、

前記光受信器は、前記信号光を受信して、誤り訂正符号を復号し訂正し、

前記光伝送路を伝搬する信号光から分離される偏波成分は、前記光受信器において訂正される誤り数が最小となるように制御される

ことを特徴とする請求項 1 から請求項 4 のいずれかの項に記載の偏波モード分散補償方法。

【請求項 12】 光信号を送信する光送信器と、前記光送信器と接続され前記光信号を伝送する光伝送路と、前記光伝送路を介して前記光送信器と接続され前記光信号を受信する光受信器とから構成される光伝送システムにおいて前記伝送路上に設けられる偏波モード分散の補償装置であって、

前記光送信器から出力された信号光の偏波状態を変換する偏波変換手段と、

前記偏波変換手段から出力される信号光から特定の偏波成分を分離する特定偏波選択手段と、

前記特定偏波選択手段により分離された偏波成分の波形劣化を検出する第 1 の波形劣化検出手段と、

前記第 1 の波形劣化検出手段により検出される波形劣化が最小となるように前記偏波変換手段を制御する制御手段と、

前記特定偏波選択手段により分離された偏波成分の群速度分散を補償する分散補償手段と

を具備することを特徴とする偏波モード分散補償装置。

【請求項 13】 光信号を送信する光送信器と、前記光送信器と接続され前記光信号を伝送する光伝送路と、前記光伝送路を介して前記光送信器と接続され前記光信号を受信する光受信器とから構成される光伝送システムにおいて前記伝送路上に設けられる偏波モード分散の補償装置であって、

前記光送信器から出力された信号光の偏波状態を変換する偏波変換手段と、

前記偏波変換手段から出力される信号光から前記光伝送路の偏波主軸を検出する偏波主軸検出手段と、

前記偏波変換手段から出力される信号光から特定の偏波成分を分離する特定偏

波選択手段と、

前記偏波主軸検出手段により検出された偏波主軸が前記特定偏波選択手段で分離される偏波状態と一致するよう前記偏波変換手段を制御する制御手段と、

前記特定偏波選択手段により分離された偏波成分の群速度分散を補償する分散補償手段と

を具備することを特徴とする偏波モード分散補償装置。

【請求項 14】 光信号を送信する光送信器と、前記光送信器と接続され前記光信号を伝送する光伝送路と、前記光伝送路を介して前記光送信器と接続され前記光信号を受信する光受信器とから構成される光伝送システムにおいて前記伝送路上に設けられる偏波モード分散の補償装置であって、

前記光送信器から出力される信号光の偏波状態を円偏波もしくは直線偏波に設定する偏波設定手段と、

前記光送信器から出力された信号光の偏波状態を変換する偏波変換手段と、

前記偏波変換手段から出力される信号光に PMD を付与する PMD 付与手段と

前記 PMD 付与手段から出力される信号光から特定の偏波成分を分離する特定偏波選択手段と、

前記特定偏波選択手段により分離された偏波成分の波形劣化を検出する波形劣化検出手段と、

前記波形劣化検出手段により検出される波形劣化が最小となるように前記変換手段を制御する制御手段と、

前記特定偏波選択手段により分離された偏波成分の群速度分散を補償する分散補償手段と

を具備することを特徴とする偏波モード分散補償装置。

【請求項 15】 光信号を送信する光送信器と、前記光送信器と接続され前記光信号を伝送する光伝送路と、前記光伝送路を介して前記光送信器と接続され前記光信号を受信する光受信器とから構成される光伝送システムにおいて前記伝送路上に設けられる偏波モード分散の補償装置であって、

前記光送信器から出力される信号光の偏波状態を円偏波もしくは直線偏波に設

定する偏波設定手段と、

前記光送信器から出力された信号光の偏波状態を変換する偏波変換手段と、

前記偏波変換手段から出力される信号光にPMDを付与するPMD付与手段と

前記PMD付与手段から出力される信号光から前記光伝送路及び前記PMD付与手段の偏波主軸を検出する偏波主軸検出手段と、

前記偏波変換手段から出力される信号光から特定の偏波成分を分離する特定偏波選択手段と、

前記偏波主軸検出手段により検出された偏波主軸が、前記特定偏波選択手段で分離される偏波状態と一致するように前記偏波変換手段を制御する制御手段と、

前記特定偏波選択手段により分離された偏波成分の群速度分散を補償する分散補償手段と

を具備することを特徴とする偏波モード分散補償装置。

【請求項16】 前記波形劣化検出手段は、前記偏波選択手段により分離された偏波成分を分配する光分配手段と、前記光分配手段によって分配された一方の信号光を電気信号に変換する光電変換手段と、前記光電変換手段によって変換された電気信号の特定周波数成分を検出する特定周波数検出手段と、前記光電変換手段によって変換された電気信号の直流成分を検出する直流成分検出手段とからなり、

前記制御手段は、前記特定周波数成分と前記直流成分の比が最大になるよう前記偏波変換手段を制御する

ことを特徴とする請求項12または請求項14に記載の偏波モード分散補償装置。

【請求項17】 前記偏波主軸検出手段及び前記特定偏波選択手段は、前記偏波変換手段から出力される信号光を直交する2つの偏波成分に分離する偏波分離手段と、前記偏波分離手段によって分離された1の光信号を分配する光分配手段と、前記光分配手段によって分配された一方の信号光を電気信号に変換する第1の光電変換手段と、前記光分配手段によって分配された一方の信号光を電気信号に変換する第2の光電変換手段と、前記第1の光電変換手段により変換された電

気信号の特定周波数成分を検出する第1の特定周波数検出手段と、前記第2の光電変換手段により変換された電気信号の特定周波数成分を検出する第2の特定周波数検出手段とからなり、

前記制御手段は、前記特定周波数検出手段で検出される2つの周波数成分強度が等しくなるように前記偏波変換手段を制御する

ことを特徴とする請求項13または請求項15に記載の偏波モード分散補償装置。

【請求項18】 前記偏波主軸検出手段及び前記特定偏波選択手段は、前記偏波変換手段から出力される信号光を直交する2つの偏波成分に分離する偏波分離手段と、前記偏波分離手段によって分離された他方の光信号を分配する光分配手段と、前記光分配手段によって分配された一方の信号光を電気信号に変換する第1の光電変換手段と、前記光分配手段によって分配された一方の信号光を電気信号に変換する第2の光電変換手段と、前記第1の光電変換手段により変換された電気信号と、前記第2の光電変換手段により変換された電気信号との位相を比較する位相比較手段とからなり、

前記制御手段は、前記位相比較手段で検出される位相差が最大になるよう前記偏波変換手段を制御する

ことを特徴とする請求項13または請求項15に記載の偏波モード分散補償装置。

【請求項19】 前記偏波主軸検出手段及び前記特定偏波選択手段は、前記偏波変換手段から出力される信号光を直交する2つの偏波成分に分離する偏波分離手段と、前記偏波分離手段によって分離された他方の光信号を分配する光分配手段と、前記光分配手段によって分配された一方の信号光を電気信号に変換する第1の光電変換手段と、前記第1の光電変換手段により変換された電気信号から高周波成分を除去する第1の帯域制限手段と、前記光分配手段によって分配された一方の信号光を電気信号に変換する第2の光電変換手段と、前記第2の光電変換手段により変換された電気信号から高周波成分を除去する第2の帯域制限手段と、前記第1の帯域制限手段により高周波成分が除去された電気信号と、前記第2の帯域制限手段により高周波成分が除去された電気信号との位相を比較する位相

比較手段とからなり、

前記制御手段は、前記位相比較手段で検出される位相差が最大になるよう前記偏波変換手段を制御する

ことを特徴とする請求項 13 または請求項 15 に記載の偏波モード分散補償装置。

【請求項 20】 前記偏波主軸検出手段及び前記特定偏波選択手段は、前記偏波変換手段から出力される信号光を直交する 2 つの偏波成分に分離する偏波分離手段と、前記偏波分離手段によって分離された他方の光信号を分配する光分配手段と、前記光分配手段によって分配された一方の信号光を電気信号に変換する第 1 の光電変換手段と、前記第 1 の光電変換手段により変換された電気信号の信号パターンを特定の規則に従ってパターン変換する第 1 の信号処理手段と、前記光分配手段によって分配された一方の信号光を電気信号に変換する第 2 の光電変換手段と、前記第 2 の光電変換手段により変換された電気信号の信号パターンを特定の規則に従ってパターン変換する第 2 の信号処理手段と、前記第 1 の信号処理手段によりパターン変換された電気信号と、前記第 2 の信号処理手段によりパターン変換された電気信号との位相を比較する位相比較手段とからなり、

前記制御手段は、前記位相比較手段で検出される位相差が最大になるよう前記偏波変換手段を制御する

ことを特徴とする請求項 13 または請求項 15 に記載の偏波モード分散補償装置。

【請求項 21】 光信号を送信する光送信器と、前記光送信器と接続され前記光信号を伝送する光伝送路と、前記光伝送路を介して前記光送信器と接続され前記光信号を受信する光受信器とから構成される光伝送システムにおいて前記伝送路上に設けられる偏波モード分散の補償装置であって、

前記光送信器から出力された信号光の偏波状態を変換する偏波変換手段と、

前記偏波変換手段から出力される信号光から特定の偏波成分を分離する特定偏波選択手段と、

前記光受信器で検出される符号誤り数が最小となるように前記偏波変換手段を制御する制御手段と、

前記特定偏波選択手段により分離された偏波成分の群速度分散を補償する分散補償手段と

を具備することを特徴とする偏波モード分散補償装置。

【請求項 22】 光信号を送信する光送信器と、前記光送信器と接続され前記光信号を伝送する光伝送路と、前記光伝送路を介して前記光送信器と接続され前記光信号を受信する光受信器とから構成される光伝送システムにおいて前記伝送路上に設けられる偏波モード分散の補償装置であって、

前記光送信器から出力された信号光の偏波状態を変換する偏波変換手段と、

前記偏波変換手段から出力される信号光から特定の偏波成分を分離する特定偏波選択手段と、

前記光受信器で訂正される誤り訂正数が最小となるように前記偏波変換手段を制御する制御手段と、

前記特定偏波選択手段により分離された偏波成分の群速度分散を補償する分散補償手段と

を具備することを特徴とする偏波モード分散補償装置。

【請求項 23】 光信号を送信する光送信器と、前記光送信器と接続され前記光信号を伝送する光伝送路と、前記光伝送路を介して前記光送信器と接続され前記光信号を受信する光受信器とから構成される光伝送システムにおいて前記伝送路上に設けられる偏波モード分散の補償装置であって、

前記光送信器から出力される信号光の偏波状態を円偏波もしくは直線偏波に設定する偏波設定手段と、

前記光送信器から出力された信号光の偏波状態を変換する偏波変換手段と、

前記偏波変換手段から出力される信号光に PMD を付与する PMD 付与手段と

前記偏波変換手段から出力される信号光から特定の偏波成分を分離する特定偏波選択手段と、

前記光受信器で検出される符号誤り数が最小となるように前記偏波変換手段を制御する制御手段と、

前記特定偏波選択手段により分離された偏波成分の群速度分散を補償する分散

## 補償手段と

を具備することを特徴とする偏波モード分散補償装置。

【請求項 24】 光信号を送信する光送信器と、前記光送信器と接続され前記光信号を伝送する光伝送路と、前記光伝送路を介して前記光送信器と接続され前記光信号を受信する光受信器とから構成される光伝送システムにおいて前記伝送路上に設けられる偏波モード分散の補償装置であって、

前記光送信器から出力される信号光の偏波状態を円偏波もしくは直線偏波に設定する偏波設定手段と、

前記光送信器から出力された信号光の偏波状態を変換する偏波変換手段と、

前記偏波変換手段から出力される信号光にPMDを付与するPMD付与手段と

、  
前記PMD付与手段から出力される信号光から特定の偏波成分を分離する特定偏波選択手段と、

前記光受信器で訂正される誤り訂正数が最小となるように前記偏波変換手段を制御する制御手段と、

前記特定偏波選択手段により分離された偏波成分の群速度分散を補償する分散補償手段と

を具備することを特徴とする偏波モード分散補償装置。

【請求項 25】 前記光送信器は、ビット毎に光の位相が反転したRZ符号を付与した信号光を出力する

ことを特徴とする請求項 12 から請求項 24 のいずれかの項に記載の偏波モード分散補償装置。

【請求項 26】 前記光送信器は、パルス毎に光の位相が反転したRZ符号を付与した信号光を出力する

ことを特徴とする請求項 12 から請求項 24 のいずれかの項に記載の偏波モード分散補償装置。

【請求項 27】 前記分散補償手段は、

入力された前記信号光に分散を付与する分散付与手段と、

前記分散付与手段と直列に接続され、前記分散付与手段を通過した信号光の波

形劣化を検出する第2の波形劣化検出手段と、

前記第2の波形劣化検出手段により検出された波形劣化が最小となるように前記分散付与手段を制御する第2の制御手段と

からなることを特徴とする請求項12から請求項26のいずれかの項に記載の偏波モード分散補償装置。

【請求項28】 前記分散補償手段は、

入力された前記信号光に分散を付与する分散付与手段と、

前記分散付与手段と直列に接続され、分散付与手段を通過した信号光の累積分散値を検出する分散検出手段と、

前記分散検出手段により検出された前記累積分散値がゼロになるよう前記分散付与手段を制御する第2の制御手段と

からなることを特徴とする請求項12から請求項26のいずれかの項に記載の偏波モード分散補償装置。

【請求項29】 前記光送信器は、同一信号パターンで変調された複数の波長の異なる信号光を送信し、

前記分散検出手段は、複数の波長の異なる信号光を分離する光分離手段と、分離した複数の光信号をそれぞれ電気信号に変換する複数の光電変換手段と、前記光電変換手段により変換された電気信号間の位相差を検出する位相比較手段とからなる

ことを特徴とする請求項28に記載の偏波モード分散補償装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光信号が伝播する光ファイバ、光増幅中継器などの光伝送路の偏波モード分散による伝送特性の劣化を補償する偏波モード分散補償方法及び偏波モード分散補償装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

超高速光伝送および長距離光伝送では、光伝送路における光信号の群速度が2

つの直交する偏波主軸により異なるという偏波モード分散 (PMD: Polarization Mode Dispersion) による伝送品質の劣化が大きな問題となる。PMD特性は光ファイバの製造工程や敷設状況に依存し、光ファイバに加わる応力や環境温度の変化により経時変化を示す。このため、PMDによる伝送品質劣化は適応的に補償する必要がある (非特許文献1を参照)。

#### 【0003】

一次のPMDによる伝送品質劣化を補償する方式は、大きく分けて2種類に分類される。PMDによる伝送品質劣化を補償する従来方法として、2種類の方式について説明する。一次のPMDの大きさを、群遅延時間差 (DGD: Differential Group Delay) と呼ぶ。

#### 【0004】

一方の方式として、受信信号光に光伝送路のDGDと逆符号のDGDを付与することで、DGDによる伝送品質劣化を補償するPMD補償器 (以下、従来技術1とする) がある。このPMD補償器の装置構成および動作について、図22を参照して説明する。光伝送路から入射された信号光は、偏波変換装置200ならびに偏波分散付与手段201を通過した後、光カップラ202によって分波され、一方は受信器に、他方は受光素子203に入射される。入射された信号光は、受光素子203により認識され、バンドパスフィルタ204 (BPF: Band pass filter) により信号光の特定の周波数成分 (例えば、ビットレートの1/2) が抽出される。制御回路205は、この抽出された周波数成分に関する情報に基づいて、抽出された周波数成分が最大になるよう偏波変換装置200を制御する。このようにして、光伝送路のDGDと逆特性のDGDが偏波分散付与手段によって信号光に与え、DGDによる伝送品質劣化を補償することができる。

#### 【0005】

もう一方の方式として、受信信号光から光伝送路の偏波主軸に平行な信号光成分もしくは垂直な信号光成分のみを分離して、DGDによる伝送品質劣化を補償するPMD補償器 (以下、従来技術2とする) がある (特許文献1を参照)。

このPMD補償器の装置構成および動作について、図23を参照して説明する

。光伝送路から入射された信号光は、偏波変換装置 210 により任意の直線偏波に変換された後、偏光ビームスプリッタ 211 (BS: Polarization beam splitter) に入射される。信号光の 2 つの直交する偏波成分のうち一方が偏光ビームスプリッタ 211 により選択される。選択された信号光は、光カップラ 212 に出力され、分波された後、一方は受信器に、他方は受光素子 213 に入射される。

BPF 214 は、受光素子 213 の出力から信号の特定の周波数成分 (例えば、ビットレートの  $1/2$ ) を抽出する。制御回路 215 は、この抽出された周波数成分に関する情報に基づいて、抽出された周波数成分が最大になるよう偏波変換装置 210 による出力光の偏波角度を制御する。

このようにして、光伝送路の偏波主軸に平行な (もしくは垂直) 信号光成分のみを PBS によって分波して受信することで、DGD による波形劣化を補償し、伝送品質劣化を低減することができる。

#### 【0006】

この方式では DGD により伝播遅延の異なる 2 つ直交する偏波成分のうち一方しか受信しないため、補償 DGD 量には制限はない。しかし、偏波角度の制御に課題がある。光伝送路の偏波主軸は時間と共に変化するため、光送信器によって光伝送路に入射される信号光の偏波主軸に対して平行な成分と垂直な成分の強度比は経時的に変化する。このため、前記 PMD 補償器では、受信している偏波成分と平行な偏波主軸に入射される信号光強度が低下すると、受信信号光の強度が低くなり、伝送品質劣化が引き起こされる。

この伝送品質劣化は、受信していた偏波成分と直交する偏波成分を受信するよう偏波変換装置を制御することで改善されるが、制御中は DGD による波形劣化を補償することは出来ず、伝送品質は著しく劣化する。

#### 【0007】

この課題を解決する PMD 補償器 (以下、従来技術 3 とする) も提案されており (特許文献 1 を参照)、装置構成および動作について、図 24 を参照して説明する。

光伝送路から入射された信号光は、偏波変換装置 220 により任意の直線偏波

に変換され、PBS 221により2つの直交する偏波成分に分波される。PBS 221により分波された信号光の一方は光カップラ1・222により分波され、一方は光スイッチ223に、他方は受光素子1・224に入射される。

BPF 1・225は、受光素子1・224の出力信号から特定の周波数成分（例えば、ビットレートの $1/2$ ）を抽出する。PBS 221により分波された信号光の他方は光カップラ2・222により分波され、一方は光スイッチ223に、他方は受光素子2・224に入射される。BPF 2・225は、受光素子2・224の出力信号から特定の周波数成分を抽出する。

BPF 1・225およびBPF 2・225により抽出された周波数成分の強度を比較することで、抽出した周波数成分強度の大きい偏波成分が光スイッチ223により選択され、受信器に入射される。

また、比較結果に基づくスイッチ227の切り替えにより、抽出した周波数成分のうち強度の大きい方の周波数成分が制御回路226に入力される。制御回路226は、この周波数成分強度に関する情報に基づいて、周波数成分強度が最大になるよう偏波変換装置による出力光の偏波角度を制御する。

また、受信している偏波成分と平行な偏波主軸に入射される信号光強度が低下した際には、光スイッチ223を切り替えてPBS 221によって分波されている他方の偏波成分を受信する。

このようにして、光伝送路の偏波主軸が時間と共に変化した場合でも、DGDによる波形劣化を補償し、伝送品質劣化を低減することができる。

#### 【0008】

[特許文献1] 特開2000-356760号公報

[非特許文献1] T. Takahashi et al., Electronics Letters, vol. 30, No. 4, P. 348, 1994.

[非特許文献2] H. Rosenfeld et al., OFC' 2001, PD27-1, 2001.

#### 【0009】

#### 【発明が解決しようとする課題】

敷設ファイバのPMD特性は、光ファイバに加わる応力や環境温度の変化によ

り経時変化を示し、DGD値も時間と共に変化する。しかし、従来技術1では、偏波分散付与手段201によって信号光に与えられるDGD値により補償DGD量が制限される。つまり、光伝送路のDGD値が偏波分散付与手段201によって与えられるDGD値と等しくなければ、その差に対応して伝送品質劣化が発生する。従って、光伝送路のDGD値が時間と共に変化する、ある値を越えるとDGDによる伝送品質劣化を補償できなくなる。

#### 【0010】

従来技術2および3では、DGD値の制限なくDGD補償が可能である。しかし、敷設ファイバの偏波主軸は時間と共に変化するため、光送信器によって光伝送路に入射される信号光の偏波主軸に対して平行な成分と垂直な成分の強度比は経時的に変化する。このため、従来技術2では、受信している偏波成分と平行な偏波主軸に入射される信号光強度が低下すると、受信信号光の強度が低くなり、伝送品質劣化が引き起こされる。

この伝送品質劣化は、受信していた偏波成分と直交する偏波成分を受信するよう偏波変換装置210を制御することで改善されるが、制御中はDGDによる波形劣化を補償することは出来ないため、伝送品質は著しく劣化するという問題がある。

一方、従来技術3では、偏波主軸が時間と共に変化した場合にはPBSで分波した直交する2つの偏波成分のうち、受信する偏波成分を光スイッチ223により切り替えることで対処する。しかし、DGDのために各偏波成分の信号光の伝播遅延は異なるため、光スイッチ223の切り替え時の誤りが発生することは避けられない。また、偏波モード分散補償装置全体を構成する部品が大幅に増加し、制御も複雑になるという問題が新たに発生する。

#### 【0011】

さらに従来技術では、一次のPMDによる伝送品質劣化に対しては効果を発揮するが、高次のPMDによる伝送品質劣化を補償することはできない。

高次のPMDとは、DGD値の波長に依存した変化と偏波主軸の波長による変化のことである。光伝送システムのビットレートが増加するにつれ、光信号の光スペクトル幅は広くなり、信号帯域内でのDGD値や偏波主軸の変化が無視でき

なくなる（非特許文献2を参照）。このため、超高速光伝送システムでは、一次のPMDだけでなく高次のPMDも補償する必要がある。

#### 【0012】

本発明は、このような事情を考慮してなされたものであり、その目的は、光伝送路の偏波主軸が時間と共に変化する系においても、一次のPMDによる伝送品質劣化を補償DGD値に対する制限なく安定に補償することができ、さらに高次のPMDによる伝送品質劣化をも補償することができる偏波モード分散補償方法及び偏波モード分散補償装置を提供することにある。

#### 【0013】

##### 【課題を解決するための手段】

この発明は上記の課題を解決すべくなされたもので、請求項1に記載の発明は、光信号を送信する光送信器と、前記光送信器と接続され、前記光信号を伝送する光伝送路と、前記光伝送路を介して前記光送信器と接続され、前記光信号を受信する光受信器とから構成される光伝送システムにおける偏波モード分散の補償方法において、前記光送信器が、前記光信号を前記光伝送路に送信し、前記光伝送路を伝搬する信号光から、前記光伝送路の偏波主軸に平行な偏波成分、または垂直な偏波成分を分離し、前記分離した偏波成分の群速度分散を補償し、前記光受信器が、前記補償された信号光を受信することを特徴とする。

#### 【0014】

請求項2に記載の発明は、光信号を送信する光送信器と、前記光送信器と接続され、前記光信号を伝送する光伝送路と、前記光伝送路を介して前記光送信器と接続され、前記光信号を受信する光受信器とから構成される光伝送システムにおける偏波モード分散の補償方法において、前記光送信器が、前記光信号を前記光伝送路に送信し、前記光伝送路を伝搬した信号光から、前記光伝送路の偏波主軸に平行な偏波成分と垂直な偏波成分に分離し、前記分離した一方の偏波成分の群速度分散を補償し、前記光受信器が、前記補償された信号光を受信することを特徴とする。

#### 【0015】

請求項3に記載の発明は、光信号を送信する光送信器と、前記光送信器と接続

され、前記光信号を伝送する光伝送路と、前記光伝送路を介して前記光送信器と接続され、前記光信号を受信する光受信器とから構成される光伝送システムにおける偏波モード分散の補償方法において、前記光送信器が、前記光信号を出力し、前記光信号の入力を受けて、前記光信号を円偏波もしくは直線偏波に変換し、前記変換された光信号を前記光伝送路に送信し、前記光伝送路の受信側において、前記光伝送路と接続されるPMD媒体を予め設け、前記光伝送路と、前記PMD媒体との偏波主軸が直線偏波もしくは円偏波になるように構成された前記光伝送路及び前記PMD媒体を伝搬した信号光から、前記光伝送路及び前記PMD媒体の偏波主軸に平行な偏波成分、または垂直な偏波成分を分離し、前記分離した偏波成分の群速度分散を補償し、前記光受信器が、前記補償された信号光を受信することを特徴とする。

#### 【0016】

請求項4に記載の発明は、光信号を送信する光送信器と、前記光送信器と接続され、前記光信号を伝送する光伝送路と、前記光伝送路を介して前記光送信器と接続され、前記光信号を受信する光受信器とから構成される光伝送システムにおける偏波モード分散の補償方法において、前記光送信器が、前記光信号を出力し、前記光信号の入力を受けて、前記光信号を円偏波もしくは直線偏波に変換し、前記変換された光信号を前記光伝送路に送信し、前記光伝送路の受信側において、前記光伝送路と接続されるPMD媒体を予め設け、前記光伝送路と、前記PMD媒体との偏波主軸が直線偏波もしくは円偏波になるように構成された前記光伝送路及び前記PMD媒体を伝搬した信号光から、前記光伝送路及び前記PMD媒体の偏波主軸に平行な偏波成分と垂直な偏波成分に分離し、前記分離した偏波成分の群速度分散を補償し、前記光受信器が、前記補償された信号光を受信することを特徴とする。

#### 【0017】

請求項5に記載の発明は、請求項1から請求項4のいずれかの項に記載の発明において、前記信号光から分離された偏波成分は、前記偏波成分を電気信号に変換された際の直流成分に対する特定周波数成分の比が最大になるように制御され、前記偏波主軸に平行な偏波成分と垂直な偏波成分に分離されることを特徴とす

る。

【0018】

請求項6に記載の発明は、請求項2または請求項4に記載の発明において、前記信号光の前記光伝送路の偏波主軸に平行な偏波成分と垂直な偏波成分は、それぞれ電気信号に変換され、特定周波数成分の強度が互いに等しくなるように制御され、前記偏波主軸に平行な偏波成分と垂直な偏波成分に分離されることを特徴とする。

【0019】

請求項7に記載の発明は、請求項2または請求項4に記載の発明において、前記信号光の前記光伝送路の偏波主軸に平行な偏波成分と垂直な偏波成分は、該2つの直行する平行な偏波成分と垂直な偏波成分との位相差が最大になるように制御され、前記偏波主軸に平行な偏波成分と垂直な偏波成分に分離されることを特徴とする。

【0020】

請求項8に記載の発明は、請求項7に記載の発明において、前記信号光の前記光伝送路の偏波主軸に平行な偏波成分と垂直な偏波成分は、それぞれ電気信号に変換され、それぞれの高周波成分が除去された後、該2つの直行する平行な偏波成分と垂直な偏波成分との位相差が最大になるように制御され、前記偏波主軸に平行な偏波成分または垂直な偏波成分に分離されることを特徴とする。

【0021】

請求項9に記載の発明は、請求項7に記載の発明において、前記信号光の前記光伝送路の偏波主軸に平行な偏波成分と垂直な偏波成分は、それぞれの信号パターンが特定の規則に従ってパターン変換された後、該2つの直行する平行な偏波成分と垂直な偏波成分との位相差が最大になるように制御され、前記偏波主軸に平行な偏波成分または垂直な偏波成分に分離されることを特徴とする。

【0022】

請求項10に記載の発明は、請求項1から請求項4のいずれかの項に記載の発

明において、前記光送信器は、前記信号光に所定の符号を付与して送信し、前記光受信器は、前記信号光を受信して、前記符号の誤りを検出し、前記光伝送路を伝搬する信号光から分離される偏波成分は、前記光受信器において検出される誤り数が最小となるように制御されることを特徴とする。

#### 【0023】

請求項11に記載の発明は、請求項1から請求項4のいずれかの項に記載の発明において、前記光送信器は、前記信号光に所定の誤り訂正符号を付与して送信し、前記光受信器は、前記信号光を受信して、誤り訂正符号を復号し訂正し、前記光伝送路を伝搬する信号光から分離される偏波成分は、前記光受信器において訂正される誤り数が最小となるように制御されることを特徴とする。

#### 【0024】

請求項12に記載の発明は、光信号を送信する光送信器と、前記光送信器と接続され前記光信号を伝送する光伝送路と、前記光伝送路を介して前記光送信器と接続され前記光信号を受信する光受信器とから構成される光伝送システムにおいて前記伝送路上に設けられる偏波モード分散の補償装置であって、前記光送信器から出力された信号光の偏波状態を変換する偏波変換手段と、前記偏波変換手段から出力される信号光から特定の偏波成分を分離する特定偏波選択手段と、前記特定偏波選択手段により分離された偏波成分の波形劣化を検出する第1の波形劣化検出手段と、前記第1の波形劣化検出手段により検出される波形劣化が最小となるように前記偏波変換手段を制御する制御手段と、前記特定偏波選択手段により分離された偏波成分の群速度分散を補償する分散補償手段とを具備することを特徴とする。

#### 【0025】

請求項13に記載の発明は、光信号を送信する光送信器と、前記光送信器と接続され前記光信号を伝送する光伝送路と、前記光伝送路を介して前記光送信器と接続され前記光信号を受信する光受信器とから構成される光伝送システムにおいて前記伝送路上に設けられる偏波モード分散の補償装置であって、前記光送信器から出力された信号光の偏波状態を変換する偏波変換手段と、前記偏波変換手段から出力される信号光から前記光伝送路の偏波主軸を検出する偏波主軸検出手段

と、前記偏波変換手段から出力される信号光から特定の偏波成分を分離する特定偏波選択手段と、前記偏波主軸検出手段により検出された偏波主軸が前記特定偏波選択手段で分離される偏波状態と一致するよう前記偏波変換手段を制御する制御手段と、前記特定偏波選択手段により分離された偏波成分の群速度分散を補償する分散補償手段とを具備することを特徴とする。

【0026】

請求項14に記載の発明は、光信号を送信する光送信器と、前記光送信器と接続され前記光信号を伝送する光伝送路と、前記光伝送路を介して前記光送信器と接続され前記光信号を受信する光受信器とから構成される光伝送システムにおいて前記伝送路上に設けられる偏波モード分散の補償装置であって、前記光送信器から出力される信号光の偏波状態を円偏波もしくは直線偏波に設定する偏波設定手段と、前記光送信器から出力された信号光の偏波状態を変換する偏波変換手段と、前記偏波変換手段から出力される信号光にPMDを付与するPMD付与手段と、前記PMD付与手段から出力される信号光から特定の偏波成分を分離する特定偏波選択手段と、前記特定偏波選択手段により分離された偏波成分の波形劣化を検出する波形劣化検出手段と、前記波形劣化検出手段により検出される波形劣化が最小となるように前記変換手段を制御する制御手段と、前記特定偏波選択手段により分離された偏波成分の群速度分散を補償する分散補償手段とを具備することを特徴とする。

【0027】

請求項15に記載の発明は、光信号を送信する光送信器と、前記光送信器と接続され前記光信号を伝送する光伝送路と、前記光伝送路を介して前記光送信器と接続され前記光信号を受信する光受信器とから構成される光伝送システムにおいて前記伝送路上に設けられる偏波モード分散の補償装置であって、前記光送信器から出力される信号光の偏波状態を円偏波もしくは直線偏波に設定する偏波設定手段と、前記光送信器から出力された信号光の偏波状態を変換する偏波変換手段と、前記偏波変換手段から出力される信号光にPMDを付与するPMD付与手段と、前記PMD付与手段から出力される信号光から前記光伝送路及び前記PMD付与手段の偏波主軸を検出する偏波主軸検出手段と、前記偏波変換手段から出力

○  
される信号光から特定の偏波成分を分離する特定偏波選択手段と、前記偏波主軸検出手段により検出された偏波主軸が、前記特定偏波選択手段で分離される偏波状態と一致するように前記偏波変換手段を制御する制御手段と、前記特定偏波選択手段により分離された偏波成分の群速度分散を補償する分散補償手段とを具備することを特徴とする。

【0028】

請求項16に記載の発明は、請求項12または請求項14に記載の発明において、前記波形劣化検出手段は、前記偏波選択手段により分離された偏波成分を分配する光分配手段と、前記光分配手段によって分配された一方の信号光を電気信号に変換する光電変換手段と、前記光電変換手段によって変換された電気信号の特定周波数成分を検出する特定周波数検出手段と、前記光電変換手段によって変換された電気信号の直流成分を検出する直流成分検出手段とからなり、前記制御手段は、前記特定周波数成分と前記直流成分の比が最大になるよう前記偏波変換手段を制御することを特徴とする。

【0029】

請求項17に記載の発明は、請求項13または請求項15に記載の発明において、前記偏波主軸検出手段及び前記特定偏波選択手段は、前記偏波変換手段から出力される信号光を直交する2つの偏波成分に分離する偏波分離手段と、前記偏波分離手段によって分離された1の光信号を分配する光分配手段と、前記光分配手段によって分配された一方の信号光を電気信号に変換する第1の光電変換手段と、前記光分配手段によって分配された一方の信号光を電気信号に変換する第2の光電変換手段と、前記第1の光電変換手段により変換された電気信号の特定周波数成分を検出する第1の特定周波数検出手段と、前記第2の光電変換手段により変換された電気信号の特定周波数成分を検出する第2の特定周波数検出手段とからなり、前記制御手段は、前記特定周波数検出手段で検出される2つの周波数成分強度が等しくなるように前記偏波変換手段を制御することを特徴とする。

【0030】

請求項18に記載の発明は、請求項13または請求項15に記載の発明において、前記偏波主軸検出手段及び前記特定偏波選択手段は、前記偏波変換手段から

出力される信号光を直交する 2 つの偏波成分に分離する偏波分離手段と、前記偏波分離手段によって分離された他方の光信号を分配する光分配手段と、前記光分配手段によって分配された一方の信号光を電気信号に変換する第 1 の光電変換手段と、前記光分配手段によって分配された一方の信号光を電気信号に変換する第 2 の光電変換手段と、前記第 1 の光電変換手段により変換された電気信号と、前記第 2 の光電変換手段により変換された電気信号との位相を比較する位相比較手段とからなり、前記制御手段は、前記位相比較手段で検出される位相差が最大になるよう前記偏波変換手段を制御することを特徴とする。

#### 【0031】

請求項 19 に記載の発明は、請求項 13 または請求項 15 に記載の発明において、前記偏波主軸検出手段及び前記特定偏波選択手段は、前記偏波変換手段から出力される信号光を直交する 2 つの偏波成分に分離する偏波分離手段と、前記偏波分離手段によって分離された他方の光信号を分配する光分配手段と、前記光分配手段によって分配された一方の信号光を電気信号に変換する第 1 の光電変換手段と、前記第 1 の光電変換手段により変換された電気信号から高周波成分を除去する第 1 の帯域制限手段と、前記光分配手段によって分配された一方の信号光を電気信号に変換する第 2 の光電変換手段と、前記第 2 の光電変換手段により変換された電気信号から高周波成分を除去する第 2 の帯域制限手段と、前記第 1 の帯域制限手段により高周波成分が除去された電気信号と、前記第 2 の帯域制限手段により高周波成分が除去された電気信号との位相を比較する位相比較手段とからなり、前記制御手段は、前記位相比較手段で検出される位相差が最大になるよう前記偏波変換手段を制御することを特徴とする。

#### 【0032】

請求項 20 に記載の発明は、請求項 13 または請求項 15 に記載の発明において、前記偏波主軸検出手段及び前記特定偏波選択手段は、前記偏波変換手段から出力される信号光を直交する 2 つの偏波成分に分離する偏波分離手段と、前記偏波分離手段によって分離された他方の光信号を分配する光分配手段と、前記光分配手段によって分配された一方の信号光を電気信号に変換する第 1 の光電変換手段と、前記第 1 の光電変換手段により変換された電気信号の信号パターンを特定

の規則に従ってパターン変換する第1の信号処理手段と、前記光分配手段によって分配された一方の信号光を電気信号に変換する第2の光電変換手段と、前記第2の光電変換手段により変換された電気信号の信号パターンを特定の規則に従ってパターン変換する第2の信号処理手段と、前記第1の信号処理手段によりパターン変換された電気信号と、前記第2の信号処理手段によりパターン変換された電気信号との位相を比較する位相比較手段とからなり、前記制御手段は、前記位相比較手段で検出される位相差が最大になるよう前記偏波変換手段を制御することを特徴とする。

#### 【0033】

請求項21に記載の発明は、光信号を送信する光送信器と、前記光送信器と接続され前記光信号を伝送する光伝送路と、前記光伝送路を介して前記光送信器と接続され前記光信号を受信する光受信器とから構成される光伝送システムにおいて前記伝送路上に設けられる偏波モード分散の補償装置であって、前記光送信器から出力された信号光の偏波状態を変換する偏波変換手段と、前記偏波変換手段から出力される信号光から特定の偏波成分を分離する特定偏波選択手段と、前記光受信器で検出される符号誤り数が最小となるように前記偏波変換手段を制御する制御手段と、前記特定偏波選択手段により分離された偏波成分の群速度分散を補償する分散補償手段とを具備することを特徴とする。

#### 【0034】

請求項22に記載の発明は、光信号を送信する光送信器と、前記光送信器と接続され前記光信号を伝送する光伝送路と、前記光伝送路を介して前記光送信器と接続され前記光信号を受信する光受信器とから構成される光伝送システムにおいて前記伝送路上に設けられる偏波モード分散の補償装置であって、前記光送信器から出力された信号光の偏波状態を変換する偏波変換手段と、前記偏波変換手段から出力される信号光から特定の偏波成分を分離する特定偏波選択手段と、前記光受信器で訂正される誤り訂正数が最小となるように前記偏波変換手段を制御する制御手段と、前記特定偏波選択手段により分離された偏波成分の群速度分散を補償する分散補償手段とを具備することを特徴とする。

#### 【0035】

請求項 23 に記載の発明は、光信号を送信する光送信器と、前記光送信器と接続され前記光信号を伝送する光伝送路と、前記光伝送路を介して前記光送信器と接続され前記光信号を受信する光受信器とから構成される光伝送システムにおいて前記伝送路上に設けられる偏波モード分散の補償装置であって、前記光送信器から出力される信号光の偏波状態を円偏波もしくは直線偏波に設定する偏波設定手段と、前記光送信器から出力された信号光の偏波状態を変換する偏波変換手段と、前記偏波変換手段から出力される信号光に PMD を付与する PMD 付与手段と、前記偏波変換手段から出力される信号光から特定の偏波成分を分離する特定偏波選択手段と、前記光受信器で検出される符号誤り数が最小となるように前記偏波変換手段を制御する制御手段と、前記特定偏波選択手段により分離された偏波成分の群速度分散を補償する分散補償手段とを具備することを特徴とする。

#### 【0036】

請求項 24 に記載の発明は、光信号を送信する光送信器と、前記光送信器と接続され前記光信号を伝送する光伝送路と、前記光伝送路を介して前記光送信器と接続され前記光信号を受信する光受信器とから構成される光伝送システムにおいて前記伝送路上に設けられる偏波モード分散の補償装置であって、前記光送信器から出力される信号光の偏波状態を円偏波もしくは直線偏波に設定する偏波設定手段と、前記光送信器から出力された信号光の偏波状態を変換する偏波変換手段と、前記偏波変換手段から出力される信号光に PMD を付与する PMD 付与手段と、前記 PMD 付与手段から出力される信号光から特定の偏波成分を分離する特定偏波選択手段と、前記光受信器で訂正される誤り訂正数が最小となるように前記偏波変換手段を制御する制御手段と、前記特定偏波選択手段により分離された偏波成分の群速度分散を補償する分散補償手段とを具備することを特徴とする。

#### 【0037】

請求項 25 に記載の発明は、請求項 12 から請求項 24 のいずれかの項に記載の発明において、前記光送信器は、ビット毎に光の位相が反転した RZ 符号を付与した信号光を出力することを特徴とする。

#### 【0038】

請求項 26 に記載の発明は、請求項 12 から請求項 24 のいずれかの項に記載

の発明において、前記光送信器は、パルス毎に光の位相が反転した R Z 符号を付与した信号光を出力することを特徴とする。

#### 【0039】

請求項 27 に記載の発明は、請求項 12 から請求項 26 のいずれかの項に記載の発明において、前記分散補償手段は、入力された前記信号光に分散を付与する分散付与手段と、前記分散付与手段と直列に接続され、前記分散付与手段を通過した信号光の波形劣化を検出する第 2 の波形劣化検出手段と、前記第 2 の波形劣化検出手段により検出された波形劣化が最小となるように前記分散付与手段を制御する第 2 の制御手段とからなることを特徴とする。

#### 【0040】

請求項 28 に記載の発明は、請求項 12 から請求項 26 のいずれかの項に記載の発明において、前記分散補償手段は、入力された前記信号光に分散を付与する分散付与手段と、前記分散付与手段と直列に接続され、分散付与手段を通過した信号光の累積分散値を検出する分散検出手段と、前記分散検出手段により検出された前記累積分散値がゼロになるよう前記分散付与手段を制御する第 2 の制御手段とからなることを特徴とする。

#### 【0041】

請求項 29 に記載の発明は、請求項 28 に記載の発明において、前記光送信器は、同一信号パターンで変調された複数の波長の異なる信号光を送信し、前記分散検出手段は、複数の波長の異なる信号光を分離する光分離手段と、分離した複数の光信号をそれぞれ電気信号に変換する複数の光電変換手段と、前記光電変換手段により変換された電気信号間の位相差を検出する位相比較手段とからなることを特徴とする。

#### 【0042】

##### 【発明の実施の形態】

以下、図面を参照して本発明の一実施形態である偏波モード分散補償装置について説明する。図 1 は、本実施形態 1 の偏波モード分散補償装置の構成を示すブロック図である。

本実施形態 1 の偏波モード分散補償装置は、光伝送システムの受信側に配置さ

れる偏波変換手段 1 と、特定の偏波成分を分離する特定偏波選択手段 2 と、特定偏波選択手段 1 により分離された信号光の波形劣化を検出する波形劣化検出手段 3 と、分散補償手段 4 とから構成される。

なお、上記偏波変換手段 1 は偏波コントローラ、あるいは偏波変調器が好適な例として適用可能である。また、特定偏波選択手段 2 は P B S、あるいはポーライザ（直線偏光素子）が好適な例として適用可能である。また、上記波形劣化検出手段 3 は、図 7 等を示す光電変換手段 4 1 であるフォトダイオード、直流成分検出手段 4 2 である L P F（L o w P a s s F i l t e r）及び電圧計、特定周波数成分検出手段 4 3 である B P F（B a n d P a s s F i l t e r）、R F パワー検出器及び電圧計から構成されることが好ましい。分散補償手段 4 はファイバグレーティング等の可変分散補償器が好適な例として適用可能である。

#### 【0043】

光送信器 5 が送信する信号光は、光伝送路 6 を伝播し、偏波変換手段 1 を通過した後、特定偏波選択手段 2 に入力される。入力された信号光は、特定偏波選択手段 2 によって特定の偏波成分が分離される。波形劣化検出手段 3 は分離された信号光が入力されると、波形劣化を検出する。制御手段 7 は、検出した波形劣化に関する情報に基づいて、波形劣化が最小になるように偏波変換手段 1 を制御する。

分離された信号光の波形劣化は、特定偏波選択手段 2 が光伝送路 6 の偏波主軸と平行な（または垂直）偏波成分を分離する状態において、最も小さくなるため、制御手段 7 は、波形劣化が最小になるよう偏波変換手段 1 を制御することで、光伝送路 1 5 の偏波主軸を伝播してきた信号光成分のみを分離でき、D G D による伝送品質劣化を補償することができる。

#### 【0044】

D G D の波長に依存した変化（P C D）の効果は、直交する 2 つの偏波主軸のうち一方だけに着目すれば、群速度分散と等価となる。このため、特定偏波選択手段 2 により分離された信号光は一方の偏波主軸を伝播してきた信号光であり、分散補償手段 4 により群速度分散を補償することで、P C D の補償を同時に実現

することができる。なお、分散補償手段 4 は、偏波変換手段 1 の前段に配置しても良い。

#### 【0045】

図 2 は、本実施形態 2 の偏波モード分散補償装置の構成を示すブロック図である。本実施形態 2 の偏波モード分散補償装置は、光伝送システムの受信側に配置される偏波変換手段 10 と、偏波主軸を検出する偏波主軸検出手段 11 と、特定の偏波成分を分離する特定偏波選択手段 12 と、分散補償手段 13 とから構成される。

なお、上記偏波主軸検出手段 11 は、図 8 に示す光電変換手段 52・1、2 であるフォトダイオード、特定周波数成分検出手段 53・1、2 である BPF (Band Pass Filter)、RF パワー検出器及び電圧計から構成されることが好ましい。また、図 9 に示す光電変換手段 62・1、2 であるフォトダイオード、位相比較手段 63 である位相比較器から構成してもよい。また、図 10 に示す光電変換手段 62・1、2 であるフォトダイオード、帯域制限手段 65 である LPF、位相比較手段 63 である位相比較器から構成してもよい。

#### 【0046】

光送信器 14 から送信される信号光は、光伝送路 15 を伝播し、偏波変換手段 10 を通過した後、偏波主軸検出手段 11 に入力される。偏波主軸検出手段 11 を通過した信号光は特定偏波選択手段 12 に入力され、特定の偏波成分が分離される。制御手段 16 は、偏波主軸検出手段 11 により検出される偏波主軸が、特定偏波選択手段 12 が分離する偏波成分と平行（または垂直）になるように偏波変換手段 10 を制御する。

このように、光伝送路 15 の偏波主軸を伝播してきた信号光成分のみを分離し、DGD による伝送品質劣化を補償することができる。

#### 【0047】

DGD の波長に依存した変化 (PCD) の効果は、上述したように直交する 2 つの偏波主軸のうち一方だけに着目すれば、群速度分散と等価となる。このため、特定偏波選択手段 12 により分離された信号光は一方の偏波主軸を伝播してきた信号光であり、分散補償手段 13 により群速度分散を補償することで、PCD

の補償を同時に実現することができる。なお、分散補償手段 13 は、偏波変換手段 10 の前段に配置しても良い。

#### 【0048】

図 3 は、本実施形態 3 の偏波モード分散補償装置の構成を示すブロック図である。本実施形態 3 の偏波モード分散補償装置は、光伝送システムの送信側に配置される偏波設定手段 20 と、受信側に配置される偏波変換手段 21 と、PMD を付与する PMD 付与手段 22 と、特定の偏波成分を分離する特定偏波選択手段 23 と、特定偏波選択手段 23 により分離された信号光の波形劣化を検出する波形劣化検出手段 24 と、分散補償手段 25 とから構成される。

なお上記偏波設定手段 20 は、上記偏波変換手段 1 と同様に偏波コントローラ、あるいは偏波変調器をパッシブ制御することにより好適な例として適用可能である。また PMD 付与手段 22 は、図 4 に示すように偏波分離器 22-1、光遅延器 22-2、偏波合成器 22-3 から構成されることが好ましい。

#### 【0049】

光送信器 27 から送信される信号光は、偏波設定手段 20 により円偏波（もしくは直線偏波）に設定され、光伝送路 28 に入射される。光伝送路 28 を伝播した信号光は、偏波変換手段 21 を通過した後、PMD 付与手段 22 に入力される。PMD 付与手段 22 は、入力された信号光に対して PMD を付与し、特定偏波選択手段 23 に出力する。PMD を付与された信号光は、特定偏波選択手段 23 によって特定の偏波成分が分離される。波形劣化検出手段 24 は、分離された信号光が入力されると、波形劣化を検出する。制御手段 26 は、この波形劣化に関する情報に基づいて、波形劣化が最小になるように偏波変換手段 21 を制御する。

このように制御手段 26 が、偏波変換手段 21 により信号光の偏波状態を変化させることで、光伝送路 28 と PMD 付与手段 22 の PMD ベクトルの向きが変わり、光伝送路 28 と PMD 付与手段 22 の総合の PMD ベクトルを制御することができる。

#### 【0050】

図 5 に PMD ベクトル制御の動作例を模式的に示す。光伝送路 28 と PMD 付

与手段 22 の総合の偏波主軸が特定偏波選択手段 23 により分離される直線偏波状態（もしくは円偏波状態）と平行（または垂直）になった場合、信号光の波形劣化が最も小さくなる。

このため制御手段 26 が、波形劣化が最小になるように偏波変換手段 21 を制御することで、光伝送路 28 と PMD 付与手段 22 の総合の偏波主軸を伝播してきた信号光成分のみを分離でき、DGD による伝送品質劣化を補償することができる。

#### 【0051】

また、光伝送路 28 の偏波主軸が時間と共に変化しても、光伝送路 28 と PMD 付与手段 22 の総合の偏波主軸は、特定偏波選択手段 23 で分離される偏波状態と平行（もしくは垂直）に制御される。したがって、特定偏波選択手段 23 で直線偏波成分を分離する場合には、送信信号光を円偏波に設定することにより、受信している偏波成分が、伝播している偏波主軸に入力されるパワーは常に一定に保たれ、安定した PMD 補償が可能となる。

DGD の波長に依存した変化（PCD）の効果は、上述したように直交する 2 つの偏波主軸のうち一方だけに着目すれば、群速度分散と等価となる。このため、特定偏波選択手段 23 により分離された信号光は一方の偏波主軸を伝播してきた信号光であり、分散補償手段 25 により群速度分散を補償することで、PCD の補償を同時に実現することができる。なお、分散補償手段 25 は、偏波変換手段 21 の前段に配置しても良い。

#### 【0052】

図 6 は、本実施形態 4 の偏波モード分散補償装置の構成を示すブロック図である。本実施形態 4 の偏波モード分散補償装置は、光伝送システムの送信側に配置される偏波設定手段 30 と、受信側に配置される偏波変換手段 31 と、PMD を付与する PMD 付与手段 32 と、偏波主軸を検出する偏波主軸検出手段 33 と、特定の偏波成分を分離する特定偏波選択手段 34 と、分散補償手段 35 とから構成される。

#### 【0053】

光送信器 37 から送信される信号光は、偏波設定手段 30 により円偏波（もし

くは直線偏波)に設定され、光伝送路38に入射される。光伝送路38を伝播した信号光は、偏波変換手段31を通過した後、PMD付与手段32に入力される。PMD付与手段22は、入力された信号光に対してPDMを付与し、偏波主軸検出手段33に出力する。PMDを付与された信号光は、偏波主軸検出手段33により偏波主軸を検出された後、特定偏波選択手段34によって特定の直線偏波成分(もしくは円偏波成分)が分離される。制御手段36は、偏波主軸検出手段33により検出される光伝送路38とPMD付与手段32の総合の偏波主軸が、特定偏波選択手段34により分離される偏波状態と平行(または垂直)になるように偏波変換手段31を制御する。

#### 【0054】

このように、制御手段36が、偏波変換手段31により信号光の偏波状態を変化させることで、光伝送路38とPMD付与手段32のPMDベクトルの向きが変わり、光伝送路38とPMD付与手段32の総合のPMDベクトルを制御することができる。

また、光伝送路38とPMD付与手段32の総合の偏波主軸が特定偏波選択手段34により分離される直線偏波状態(もしくは円偏波状態)と平行(または垂直)になった場合、信号光の波形劣化が最も小さくなる。したがって、光伝送路38とPMD付与手段32の総合の偏波主軸を伝播してきた信号光成分のみを分離することで、DGDによる伝送品質劣化を補償することができる。

#### 【0055】

また、光伝送路38の偏波主軸が時間と共に変化しても、光伝送路38とPMD付与手段32の総合の偏波主軸は特定偏波選択手段34で分離される偏波状態と平行(もしくは垂直)に制御されるため、特定偏波選択手段34で直線偏波成分を分離する場合には、送信信号光を円偏波に設定することにより、受信している偏波成分が伝播している偏波主軸に入力されるパワーは常に一定に保たれ、安定したPMD補償が可能となる。

#### 【0056】

DGDの波長に依存した変化(PCD)の効果は、上述したように直交する2つの偏波主軸のうち一方だけに着目すれば、群速度分散と等価となる。このため

、特定偏波選択手段 34 により分離された信号光は一方の偏波主軸を伝播してきた信号光であり、分散補償手段 35 により群速度分散を補償することで、PCD の補償を同時に実現することができる。なお、分散補償手段 35 は、偏波変換手段 31 の前段に配置しても良い。

#### 【0057】

図 7 は、本実施形態 5 の偏波モード分散補償装置の構成を示すブロック図である。本実施形態 5 の偏波モード分散補償装置は、上記波形劣化検出手段 3 を、光分配手段 40 と、光電変換手段 41 と、直流成分検出手段 41 と、特定周波数成分検出手段 42 と、制御手段 43 とから構成する。

#### 【0058】

上記特定偏波選択手段 2 によって分離された信号光は、光分配手段 40 によって分波され、一方は分散補償手段 4 へ、他方は光電変換手段 41 へと入力される。光電変換手段 41 に入力された信号光が電気信号に変換された後、変換された電気信号の直流成分と特定周波数成分（例えば、ビットレートの  $1/2$ ）が、それぞれ直流成分検出手段 42 および特定周波数成分検出手段 43 によって検出される。制御手段 44 は、この直流成分と特定周波数成分に関する情報に基づいて、検出した直流成分の強度に対する特定周波数成分の強度比が最大になるように偏波制御手段 1 を制御する。

PMD による波形劣化が最小になると、直流成分と特定周波数成分の強度比が最大になるため、直流成分と特定周波数成分の強度比の最大制御を行うことによって特定偏波選択手段 2 が光伝送路 6 の偏波主軸と平行な偏波成分を分離することができる。

#### 【0059】

図 8 は、本実施形態 6 の偏波モード分散補償装置の構成を示すブロック図である。本実施形態 6 の偏波モード分散補償装置では、上記偏波主軸検出手段 33 および特定偏波選択手段 34 を、信号光を直交する 2 つの偏波成分に分離する偏波分離手段 50 と、光分配手段 51 と、光電変換手段 1・52 および 2・52 と、特定周波数成分検出手段 1・53 および 2・53 と、制御手段 54 とから構成し、偏波主軸検出機能および特定偏波選択機能を同時に実現する。

## 【0060】

偏波分離手段50に入力された信号光は、偏波分離手段50により直交する2つの偏波成分へ分離される。分離された偏波成分の一方は光電変換手段1・52に入力され電気信号に変換される。分離された他方の偏波成分は光分配手段51によりさらに2つに分波され、一方は分散補償手段35へ、他方は光電変換手段2・52へと入力され、光電変換手段2・52により電気信号に変換される。

光電変換手段1・52および2・52によって変換された2つ電気信号は、特定周波数成分検出手段1・53および2・53に入力され、特定の周波数成分（例えば、ビットレートの $1/2$ ）の強度が検出される。制御手段54は、検出した2つの周波数成分強度に関する情報に基づいて、2つの周波数成分強度が等しくなるように偏波制御手段31を制御する。

## 【0061】

検出される2つの周波数成分強度が等しくなるのは、分離された直交する2つの偏波成分の信号光の強度がそれぞれ等しく、且つ、同等な信号波形の場合である。この条件は分離された直交する2つの偏波成分がそれぞれ偏波主軸を伝播している場合である。従って、検出される2つの周波数成分強度が等しくなるよう制御することで、光伝送路38の偏波主軸と平行な偏波成分を分離することができる。

## 【0062】

図9は、本実施形態7の偏波モード分散補償装置の構成を示すブロック図である。本実施形態7の偏波モード分散補償装置では、上記偏波主軸検出手段11および特定偏波選択手段12を、信号光を直交する2つの偏波成分に分離する偏波分離手段60と、光分配手段61と、光電変換手段1・61および2・62と、位相比較手段63と、制御手段64とから構成し、偏波主軸検出機能および特定偏波選択機能を同時に実現する。

なお、上記位相比較手段63は、位相比較器を好適な例として適用可能である。

## 【0063】

偏波分離手段60に入力された信号光は、偏波分離手段60により直交する2

つの偏波成分へ分離される。分離された偏波成分の一方は光電変換手段 1・62 に入力され電気信号に変換される。分離された他方の偏波成分は光分配手段 61 によりさらに 2 つに分波され、一方は分散補償手段 13 へ、他方は光電変換手段 2・62 へと入力され、光電変換手段 2・62 により電気信号に変換される。光電変換手段 1・62 および 2・62 によって変換された 2 つ電気信号は、位相比較手段 63 に入力され、位相差が検出される。制御手段 64 は、検出した位相差に関する情報に基づいて、この位相差が最大になるように偏波制御手段 10 を制御する。

#### 【0064】

検出される位相差が最大になるのは、分離された直交する 2 つの偏波成分がそれぞれ偏波主軸を伝播している場合である。従って、位相差が最大になるよう制御することで、光伝送路 15 の偏波主軸と平行な偏波成分を分離することができる。

#### 【0065】

図 10 は、本実施形態 8 の偏波モード分散補償装置の構成を示すブロック図である。本実施形態 8 の偏波モード分散補償装置では、上記偏波主軸検出手段 11 および特定偏波選択手段 12 を、信号光を直交する 2 つの偏波成分に分離する偏波分離手段 60 と、光分配手段 61 と、光電変換手段 1・62 および 2・62 と、帯域制限手段 1・65 および 2・65 と、位相比較手段 63 と、制御手段 64 とから構成し、偏波主軸検出機能および特定偏波選択機能を同時に実現する。

なお、帯域制限手段 65 は、LPF を好適な例として適用可能である。

#### 【0066】

偏波分離手段 60 に入力された信号光は、偏波分離手段 60 により直交する 2 つの偏波成分へ分離される。分離された偏波成分の一方は光電変換手段 1・62 に入力され電気信号に変換される。分離された他方の偏波成分は光分配手段 61 によりさらに 2 つに分波され、一方は分散補償手段 13 へ、他方は光電変換手段 2・62 へと入力され、光電変換手段 2・62 により電気信号に変換される。光電変換手段 1・62 および 2・62 によって変換された 2 つ電気信号は、帯域制限手段 1・65 および 2・65 により、それぞれ高周波成分が除去される。高周

波成分が除去された2つの電気信号は、位相比較手段63に入力され、位相差が検出される。制御手段64は、検出した位相差に関する情報に基づいて、この位相差が最大になるように偏波制御手段10を制御する。

#### 【0067】

検出される位相差が最大になるのは、分離された直交する2つの偏波成分がそれぞれ偏波主軸を伝播している場合である。従って、位相差が最大になるよう制御することで、光伝送路15の偏波主軸と平行な偏波成分を分離することができる。

電気信号から帯域制限手段1・65、2・65により高周波成分を除去すると、図11に示す通り信号パターンに依存した長周期のパターンが出現する。この長周期パターンを位相比較することにより、1タイムスロットより大きなDGD値に対しても制御が可能となる。

#### 【0068】

図12は、本実施形態9の偏波モード分散補償装置の構成を示すブロック図である。本実施形態9の偏波モード分散補償装置では、上記偏波主軸検出手段11および特定偏波選択手段12を、信号光を直交する2つの偏波成分に分離する偏波分離手段60と、光分配手段61と、光電変換手段1・62および2・62と、信号処理手段1・66および2・66と、位相比較手段63と、制御手段64とから構成し、偏波主軸検出機能および特定偏波選択機能を同時に実現する。

#### 【0069】

偏波分離手段60に入力された信号光は、偏波分離手段60により直交する2つの偏波成分へ分離される。分離された偏波成分の一方は光電変換手段1・62に入力され電気信号に変換される。分離された他方の偏波成分は光分配手段61によりさらに2つに分波され、一方は分散補償手段13へ、他方は光電変換手段2・62へと入力され、光電変換手段2・62により電気信号に変換される。光電変換手段1・62および2・62によって変換された2つ電気信号は、信号処理手段1・66および2・66により特定の規則に従って、元々の信号パターンより長周期のパターンへとパターン変換される。

パターン変換における特定の規則とは、例えば、ハイレベルがあるビット数続

くと、出力信号レベルをハイにする、あるいは、信号パターン内に特定のパターンが現れた場合のみ出力信号レベルをハイにする等の規則であり、元々の信号パターンより長周期に変換できる規則であれば良い。

#### 【0070】

図13に、信号パターン内に特定のパターンが現れた場合のパターン変換の動作例を模式的に示す。パターン変換された2つの電気信号は位相比較手段63に入力され、位相差が検出される。制御部64は、検出した位相差に関する情報に基づいて、この位相差が最大になるように偏波制御手段10を制御する。

検出される位相差が最大になるのは、分離された直交する2つの偏波成分がそれぞれ偏波主軸を伝播している場合である。従って、位相差が最大になるよう制御することで、光伝送路15の偏波主軸と平行な偏波成分を分離することができる。電気信号をさらに長周期のパターンへと変換し、位相比較することにより、1タイムスロットより大きなDGD値に対しても制御が可能となる。

#### 【0071】

図14は、本実施形態10の偏波モード分散補償装置の構成を示すブロック図である。本実施形態10の偏波モード分散補償装置では、誤り検出機能を持たせた光送信器70および光受信器71と、光伝送システムの受信側に配置される偏波変換手段72と、特定の偏波成分を分離する特定偏波選択手段73と、分散補償手段74とから構成される。

#### 【0072】

光送信器70に入力された信号光は、光送信器70において誤り検出のための処理（例えば、SDHのBIP-8など）が行われた後、光伝送路76に出力される。出力された信号光は光伝送路76を伝播し、偏波変換手段72を通過した後、特定偏波選択手段73に入力され、信号光の特定の偏波成分が分離される。分離された信号光は分散補償手段74を通過した後、光受信器71で受信される。光受信器71は受信した信号光に対して誤り検出を行い、誤り数情報を制御手段75に出力する。制御手段75は、この誤り数情報に基づいて、誤り数が最小になるように偏波変換手段72を制御する。

#### 【0073】

分離した信号光の波形劣化は、特定偏波選択手段 73 が、光伝送路の偏波主軸と平行な（または垂直）偏波成分を分離する状態において最も小さく、受信信号の誤り数が最小となる。このため、誤り数が最小になるよう制御することで、光伝送路 76 の偏波主軸を伝播してきた信号光成分のみを分離でき、DGD による伝送品質劣化を補償することができる。

#### 【0074】

DGD の波長に依存した変化（PCD）の効果は、上述したように直交する 2 つの偏波主軸のうち一方だけに着目すれば、群速度分散と等価となる。このため、特定偏波選択手段 73 により分離された信号光は一方の偏波主軸を伝播してきた信号光であり、分散補償手段 74 により群速度分散を補償することで、PCD の補償を同時に実現することができる。

また、光送受信器 70 の誤り検出機能を制御に用いることで、アナログ部品数を削減し、簡易な構成とすることが可能となる。

#### 【0075】

図 15 は、本実施形態 11 の偏波モード分散補償装置の構成を示すブロック図である。本実施形態 11 の偏波モード分散補償装置では、誤り訂正機能を持たせた光送信器 80 および光受信器 81 と、光伝送システムの受信側に配置される偏波変換手段 82 と、特定の偏波成分を分離する特定偏波選択手段 83 と、分散補償手段 84 とから構成される。

光送信器 80 は、送信する信号光に対して誤り訂正符号の符号化処理を行った後、光伝送路 86 に出力する。光送信器 80 から送信される信号光は光伝送路 86 を伝播し、偏波変換手段 82 を通過した後、特定偏波選択手段 83 に入力され、信号光の特定の偏波成分が分離される。分離された信号光は分散補償手段 84 を通過した後、光受信器 81 で受信される。光受信器 81 は誤り訂正符号の復号化処理を行い、誤り訂正数情報を制御部 85 に対して出力する。制御部 85 は、誤り訂正数が最小になるよう偏波変換手段 82 を制御する。

#### 【0076】

特定偏波選択手段 83 が光伝送路 86 の偏波主軸と平行な（または垂直）偏波成分を分離する状態が、分離した信号光の波形劣化が最も小さく、受信信号の誤

り数が最小となる。このため、誤り訂正数が最小になるよう制御することで、光伝送路 86 の偏波主軸を伝播してきた信号光成分のみを分離でき、DGD による伝送品質劣化を補償することができる。

#### 【0077】

DGD の波長に依存した変化 (PCD) の効果は、上述したように直交する 2 つの偏波主軸のうち一方だけに着目すれば、群速度分散と等価となる。このため、特定偏波選択手段 83 により分離された信号光は一方の偏波主軸を伝播してきた信号光であり、分散補償手段 82 により群速度分散を補償することで、PCD の補償を同時に実現することができる。

また、光送受信器 80、81 の誤り訂正機能を制御に用いることで、アナログ部品数を削減し、簡易な構成とすることが可能となる。

さらに、誤り訂正数で制御を行うため、光受信器から出力される信号に誤りを出ずことなく、制御が可能である。

#### 【0078】

図 16 は、本実施形態 12 の偏波モード分散補償装置の構成を示すブロック図である。本実施形態 12 の偏波モード分散補償装置では、誤り検出機能を持たせた光送信器 90 および光受信器 91 と、光伝送システムの送信側に配置される偏波設定手段 92 と、受信側に配置される偏波変換手段 93 と、PMD を付与する PMD 付与手段 94 と、特定の偏波成分を分離する特定偏波選択手段 95 と、分散補償手段 96 とから構成される。

#### 【0079】

光送信器 90 は、送信する信号光に対して誤り検出のための処理（例えば、SDH の BIP-8 など）を行った後、偏波設定手段 92 に出力する。偏波設定手段 92 は、光送信器 90 から入力される信号光を円偏波（もしくは直線偏波）に設定した後、光伝送路 98 に出力する。偏波設定手段 92 から送信された信号光は、光伝送路 98 を伝播し、偏波変換手段 93 を通過した後、PMD 付与手段 94 に入力される。PMD 付与手段 94 は、入力された信号光に対して PDM を付与し、特定偏波選択手段 95 に出力する。PMD を付与された信号光は、特定偏波選択手段 95 によって特定の偏波成分が分離される。分離された信号光は分散

補償手段 96 を通過した後、光受信器 91 により受信される。光受信器 91 は、受信した信号光に対して誤り検出を行い、誤り数情報を制御手段 97 に出力する。制御手段 97 は、誤り数情報に基づいて、検出された誤り数が最小になるように偏波変換手段 93 を制御する。

#### 【0080】

制御手段 97 が、偏波変換手段 93 により信号光の偏波状態を変化させることで、光伝送路 98 と PMD 付与手段 94 の PMD ベクトルの向き変わり、光伝送路 98 と PMD 付与手段 94 の総合の PMD ベクトルを制御することができる。

光伝送路 98 と PMD 付与手段 94 の総合の偏波主軸が特定偏波選択手段 95 により分離される直線偏波状態（もしくは円偏波状態）と平行（または垂直）になった場合、信号光の波形劣化が最も小さくなり、光受信器 91 で検出される誤り数が最小となる。このため、誤り数が最小になるよう制御することで、光伝送路 98 と PMD 付与手段 94 の総合の偏波主軸を伝播してきた信号光成分のみを分離でき、DGD による伝送品質劣化を補償することができる。

#### 【0081】

また、特定偏波選択手段 95 で直線偏波成分を分離する場合には、光伝送路 98 の偏波主軸が時間と共に変化しても、光伝送路 98 と PMD 付与手段 94 の総合の偏波主軸は特定偏波選択手段 95 で分離される偏波状態と平行（もしくは垂直）に制御される。したがって、送信信号光を円偏波に設定することにより、受信している偏波成分が、伝播している偏波主軸に入力されるパワーは常に一定に保たれ、安定した PMD 補償が可能となる。

#### 【0082】

DGD の波長に依存した変化（PCD）の効果は、上述したように直交する 2 つの偏波主軸のうち一方だけに着目すれば、群速度分散と等価となる。このため、特定偏波選択手段により分離された信号光は一方の偏波主軸を伝播してきた信号光であり、分散補償手段により群速度分散を補償することで、PCD の補償を同時に実現することができる。

また、光送受信器 90、91 の誤り検出機能を制御に用いることで、アナログ部品数を削減し、簡易な構成とすることが可能となる。

## 【0083】

図17は、本実施形態13の偏波モード分散補償装置の構成を示すブロック図である。本実施形態13の偏波モード分散補償装置では、誤り訂正機能を持たせた光送信器100および光受信器101と、光伝送システムの送信側に配置される偏波設定手段102と、受信側に配置される偏波変換手段103と、PMDを付与するPMD付与手段104と、特定の偏波成分を分離する特定偏波選択手段105と、分散補償手段106とから構成される。

## 【0084】

光送信器100は、送信する信号光に対して誤り訂正符号の符号化処理を行った後、この信号光を偏波制御手段102に出力する。光送信器100から出力される信号光は、偏波設定手段102により円偏波（もしくは直線偏波）に設定され、光伝送路108に入射される。入射された信号光は光伝送路108を伝播し、偏波変換手段103を通過した後、PMD付与手段104に入力される。PMD付与手段104は、入力された信号光に対してPDMを付与し、特定偏波選択手段104に出力する。PMDを付与された信号光は、特定偏波選択手段104によって特定の偏波成分が分離される。分離された信号光は分散補償手段106を通過した後、光受信器101により受信され、誤り訂正符号の復号化処理が行われ、誤りが訂正される。光受信器101は、受信した信号光に対して誤り訂正検出を行い、誤り訂正数情報を制御手段107に出力する。制御手段107は、この誤り訂正数情報に基づいて、検出された誤り数が最小になるように偏波変換手段103を制御する。

## 【0085】

制御手段107が、偏波変換手段103により信号光の偏波状態を変化させることで、光伝送路108とPMD付与手段104のPMDベクトルの向き変わり、光伝送路108とPMD付与手段104の総合のPMDベクトルを制御することができる。

光伝送路108とPMD付与手段104の総合の偏波主軸が、特定偏波選択手段105により分離される直線偏波状態（もしくは円偏波状態）と平行（または垂直）になった場合、信号光の波形劣化が最も小さくなり、光受信器101で訂

正される誤り数が最小となる。

このため、誤り訂正数が最小になるよう制御することで、光伝送路 108 と PMD 付与手段 104 の総合の偏波主軸を伝播してきた信号光成分のみを分離でき、DGD による伝送品質劣化を補償することができる。

#### 【0086】

特定偏波選択手段 105 で直線偏波成分を分離する場合には、光伝送路 108 の偏波主軸が時間と共に変化しても、光伝送路 108 と PMD 付与手段 104 の総合の偏波主軸は特定偏波選択手段 105 で分離される偏波状態と平行（もしくは垂直）に制御される。したがって、送信信号光を円偏波に設定することにより、受信している偏波成分が伝播している偏波主軸に入力されるパワーは常に一定に保たれ、安定した PMD 補償が可能となる。

#### 【0087】

DGD の波長に依存した変化（PCD）の効果は、上述したように直交する 2 つの偏波主軸のうち一方だけに着目すれば、群速度分散と等価となる。このため、特定偏波選択手段 105 により分離された信号光は一方の偏波主軸を伝播してきた信号光であり、分散補償手段 106 により群速度分散を補償することで、PCD の補償を同時に実現することができる。

また、光送受信器 100、101 の誤り検出機能を制御に用いることで、アナログ部品数を削減し、簡易な構成とすることが可能となる。

さらに、誤り訂正数で制御をするため、光受信器から出力される信号に誤りを出すことなく、制御が可能である。

#### 【0088】

本実施形態 14 の偏波モード分散補償装置は、上記実施形態 1～13 に記載の偏波モード分散補償装置と同一構成であって、一例としては、本実施例 13 の光送信器 100 がさらにビット毎に光位相の反転した RZ 符号を出力することを特徴とする。

高次の PMD のうち PCD による伝送品質劣化は分散補償手段 106 により補償されるが、もう一方の偏波主軸の波長に依存した変化によっても伝送後のパルス広がりが生じる。特定偏波選択手段 105 によって単一偏波成分が分離される

ため、光信号としてビット毎に光位相の反転した R Z 符号を用いることで、パルス広がりが生じた際にも隣接ビット間で干渉が起これ、パルス広がりが増大される。このようにして偏波主軸の波長に依存した変化による伝送品質劣化を抑圧することができる。

また、他の例としては、上記実施形態 1 ～ 13 に記載の偏波モード分散補償装置と同一構成であって、本実施例 13 の光送信器 100 がさらにパルス毎に光位相の反転した R Z 符号を出力することを特徴とする。この場合、上述したように、高次の PMD のうち PCD による伝送品質劣化は分散補償手段 106 により補償されるが、もう一方の偏波主軸の波長に依存した変化によっても伝送後のパルス広がりが生じる。特定偏波選択手段 105 によって単一偏波成分が分離されるため、光信号としてパルス毎に光位相の反転した R Z 符号を用いる。

#### 【0089】

図 18 は、本実施形態 15 の偏波モード分散補償装置の構成を示すブロック図である。本実施形態 15 の偏波モード分散補償装置では、上記実施形態 1 ～ 13 に記載の分散補償手段を、一例としては本実施例 13 の分散補償手段 103 を分散付与手段 110 と、波形劣化手段 111 と、制御手段 112 とから構成することを特徴とする。

#### 【0090】

光信号は分散付与手段 110 に入力され、分散付与手段 110 により分散が加えられる。分散が加えられた信号光は波形劣化検出手段 111 に出力された後、波形劣化検出手段 111 により波形劣化が検出される。制御手段 112 は、検出された波形劣化に関する情報を受けて、この波形劣化が最小になるよう分散付与手段 110 で加える分散値を制御する。

波形劣化は、光信号に累積した分散を補償したときに最小となるため、波形劣化を最小にすることで、光伝送路の群速度分散を補償すると共に、PCDをも同時に補償することができる。

#### 【0091】

図 19 は、本実施形態 16 の偏波モード分散補償装置の構成を示すブロック図である。本実施形態 16 の偏波モード分散補償装置では、上記実施形態 1 ～ 13

に記載の分散補償手段を、一例としては本実施例 13 の分散補償手段 103 を分散付与手段 120 と、分散検出手段 121 と、制御手段 122 とから構成することを特徴とする。

#### 【0092】

光信号は分散付与手段 120 に入力され、分散付与手段 120 により分散が加えられる。分散が加えられた信号光は分散検出手段 121 に出力された後、分散検出手段 121 により信号光に累積された分散値が検出される。制御手段 122 は、検出された分散値に関する情報を受けて、この分散値がゼロになるよう分散付与手段 120 で加える分散値を制御する。

この光信号に累積された分散を補償することにより、光伝送路の群速度分散を補償すると共に、PCDをも同時に補償することができる。

また分散検出手段 121 により分散値を検出するため、分散付与手段 120 で加える分散値を大きくする方向へ制御するか、小さくする方向へ制御するか判断することができ、安定した制御を可能にする。

#### 【0093】

次に本実施形態 17 の偏波モード分散補償装置について、図 19、20 を参照して説明する。図 20 は、本実施形態 17 の偏波モード分散補償装置の構成を示すブロック図である。本実施形態 17 の偏波モード分散補償装置は、上記実施形態 1～13 に記載の分散補償手段を、一例としては本実施例 13 の分散補償手段 103 を分散付与手段 130 と、光分配手段 131 と、光分離手段 132 と、光電変換手段  $1 \cdot 133 \sim n \cdot 133$  ( $n$  は 2 以上の自然数) と、位相比較手段 134 と、制御手段 135 とから構成することを特徴とする。

#### 【0094】

図 21 は、本実施形態 17 の偏波モード分散補償装置において、2 つの波長の異なる信号光が送受信される場合を模式的に示している。

分散付与手段 130 を通過し、光分配手段 131 によって分配された信号光は光分離手段 132 に入力された後、光分離手段 132 より波長毎に分離される。波長ごとに分離された信号光は、光電変換手段  $1 \cdot 133$ 、 $2 \cdot 133$  により電気信号に変換される。変換された 2 つの電気信号は、位相比較手段 134 に入力

され、位相比較手段 134 により 2 つの電気信号の位相差が検出される。

信号光に分散が存在する場合、信号光の波長によって伝播遅延が異なるため、制御手段 135 は、2 つの波長の異なる信号光間の波長間隔と検出された位相差から分散値を算出し、この分散値がゼロになるよう分散付与手段 120 で加える分散値を制御する。

このように、分散値の大きさと符号を測定することにより、安定した制御を実現できる。

#### 【0095】

#### 【発明の効果】

以上説明したように、本発明の偏波モード分散補償装置により、一次の PMD を DGD 値に制限なく補償できるだけでなく、DGD 値や偏波主軸が波長によって変化する高次の PMD をも補償可能となる。さらに、光伝送路の偏波主軸が時間とともに変化した場合にも安定して一次および高次の PMD 補償が可能となる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図 1】 本実施形態 1 の偏波モード分散補償装置の構成を示すブロック図である。

【図 2】 本実施形態 2 の偏波モード分散補償装置の構成を示すブロック図である。

【図 3】 本実施形態 3 の偏波モード分散補償装置の構成を示すブロック図である。

【図 4】 本実施形態 3 の PMD 付与手段の詳細な構成を示すブロック図である。

【図 5】 本実施形態 3 の偏波モード分散補償装置における PMD ベクトル制御の動作を示す模式図である。

【図 6】 本実施形態 4 の偏波モード分散補償装置の構成を示すブロック図である。

【図 7】 本実施形態 5 の偏波モード分散補償装置の構成を示すブロック図である。

【図 8】 本実施形態 6 の偏波モード分散補償装置の構成を示すブロック図である。

【図 9】 本実施形態 7 の偏波モード分散補償装置の構成を示すブロック図である。

【図 10】 本実施形態 8 の偏波モード分散補償装置の構成を示すブロック図である。

【図 11】 本実施形態 8 の偏波モード分散補償装置における帯域制限手段により高周波成分を除去された電気信号の信号波形図である。

【図 12】 本実施形態 9 の偏波モード分散補償装置の構成を示すブロック図である。

【図 13】 本実施形態 9 の偏波モード分散補償装置における信号処理手段によるパターン変換された信号波形図である。

【図 14】 本実施形態 10 の偏波モード分散補償装置の構成を示すブロック図である。

【図 15】 本実施形態 11 の偏波モード分散補償装置の構成を示すブロック図である。

【図 16】 本実施形態 12 の偏波モード分散補償装置の構成を示すブロック図である。

【図 17】 本実施形態 13 の偏波モード分散補償装置の構成を示すブロック図である。

【図 18】 本実施形態 15 の偏波モード分散補償装置の構成を示すブロック図である。

【図 19】 本実施形態 16 の偏波モード分散補償装置の構成を示すブロック図である。

【図 20】 本実施形態 17 の偏波モード分散補償装置の構成を示すブロック図である。

【図 21】 本実施形態 18 の偏波モード分散補償装置において、2つの波長の異なる信号光が送受信される動作を示す模式図である。

【図 22】 従来技術 1 の偏波モード分散補償装置の構成を示すブロック図

である。

【図 2 3】 従来技術 2 の偏波モード分散補償装置の構成を示すブロック図である。

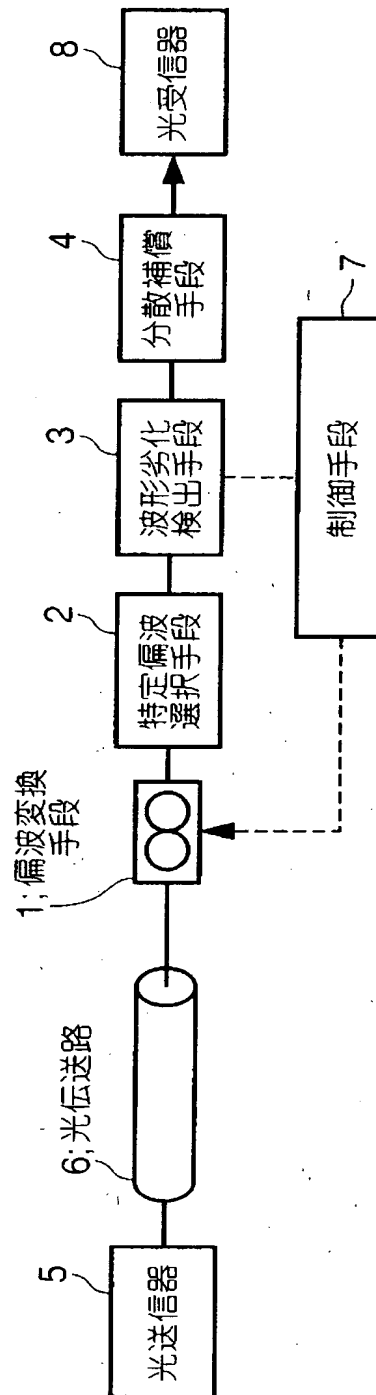
【図 2 4】 従来技術 3 の偏波モード分散補償装置の構成を示すブロック図である。

【符号の説明】

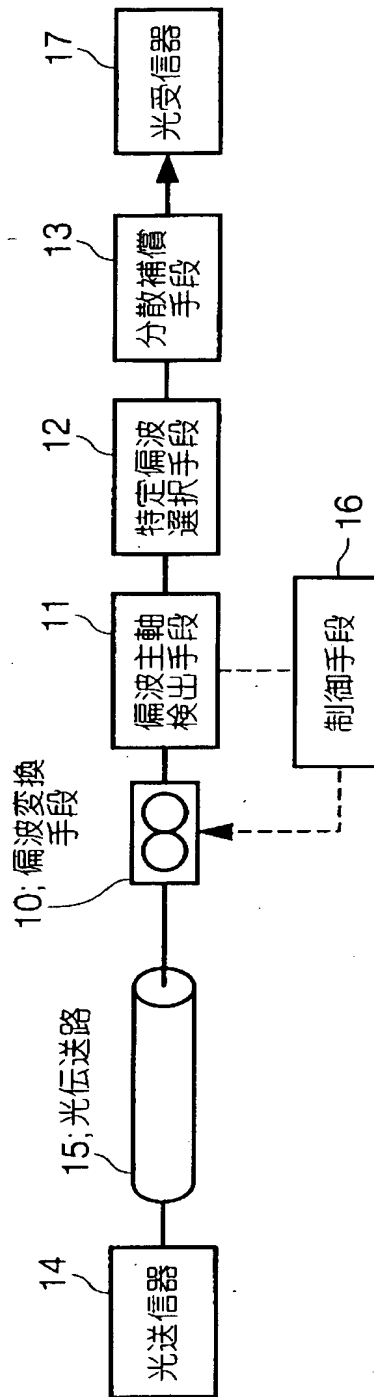
- 1…偏波変換手段
- 2…特定偏波選択手段
- 3…波形劣化検出手段
- 4…分散補償手段
- 5…光送信器
- 6…光伝送路
- 7…制御手段
- 8…光受信器

【書類名】 図面

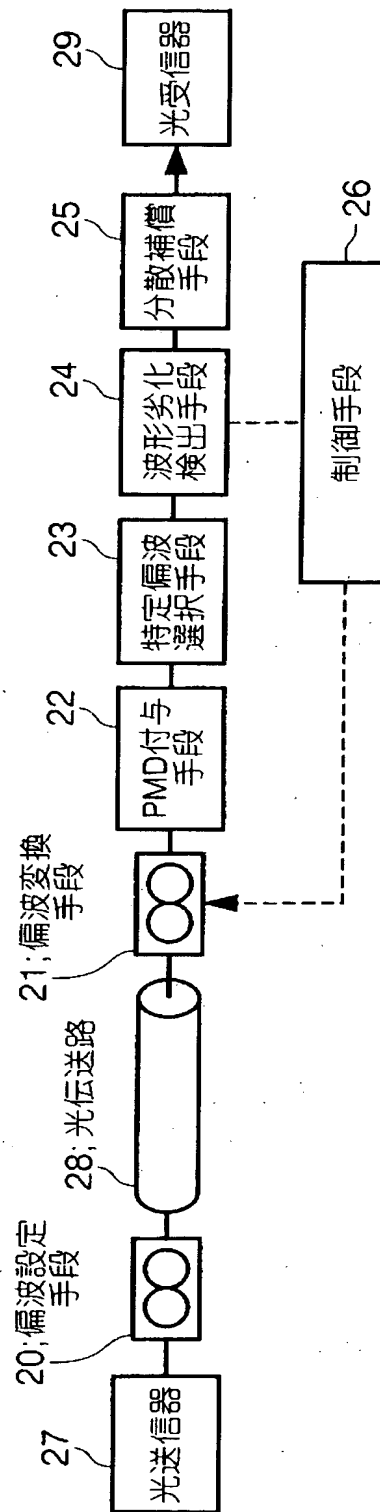
【図 1】



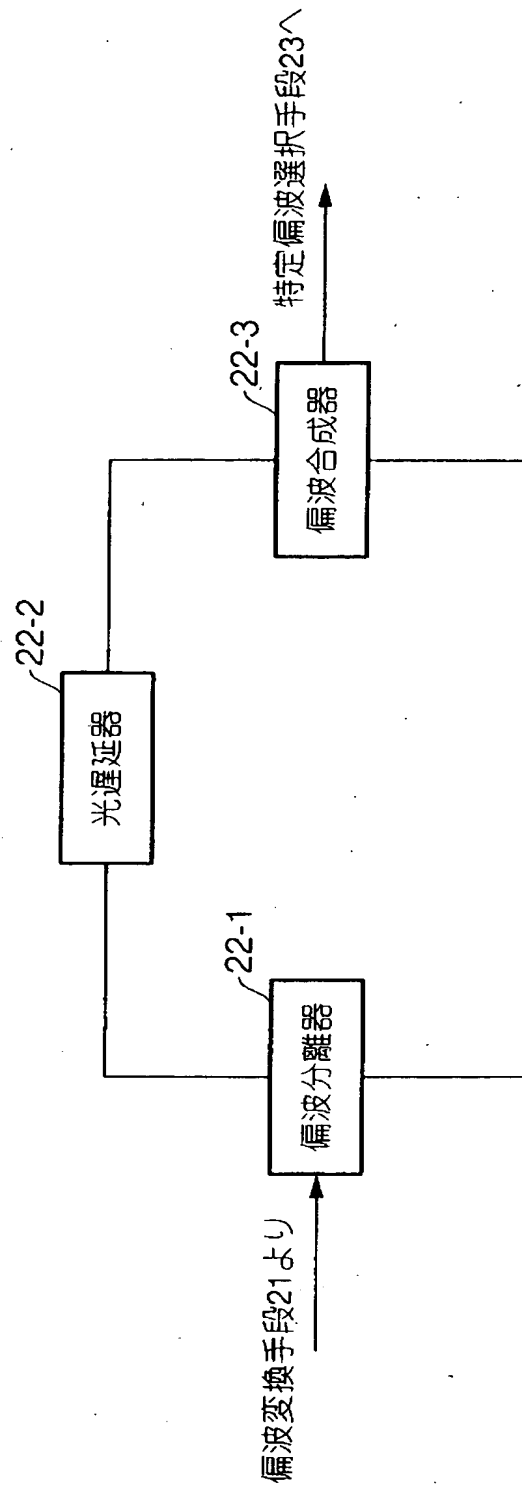
【図 2】



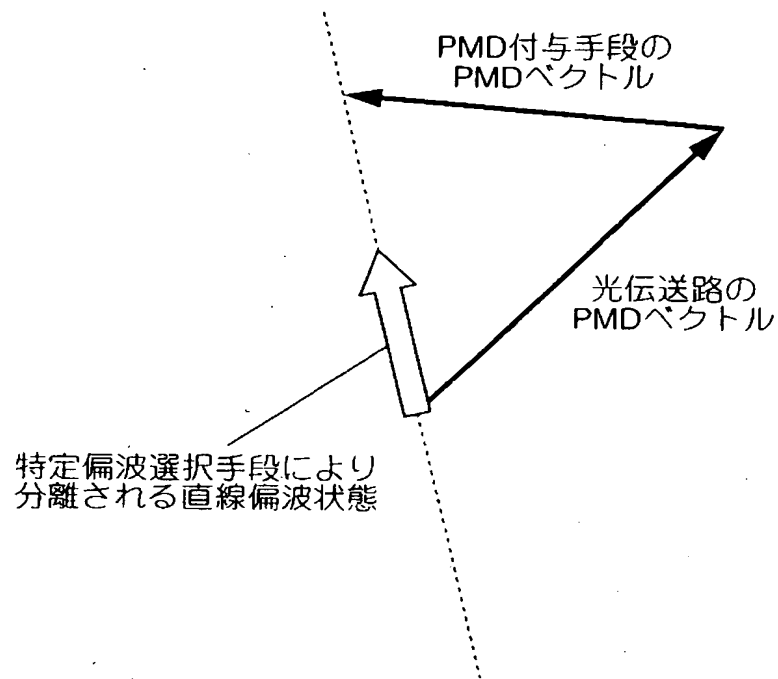
【図 3】



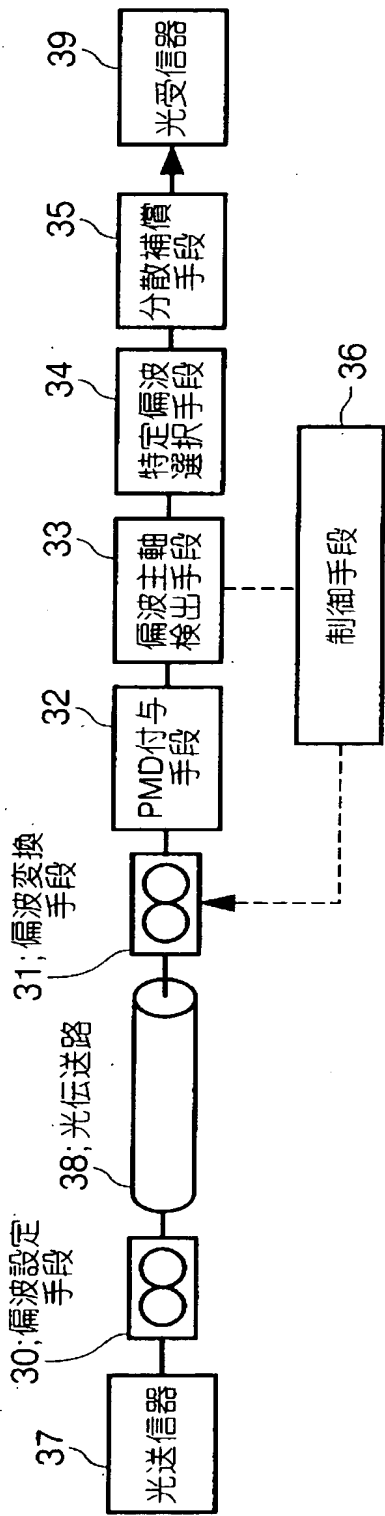
【図 4】



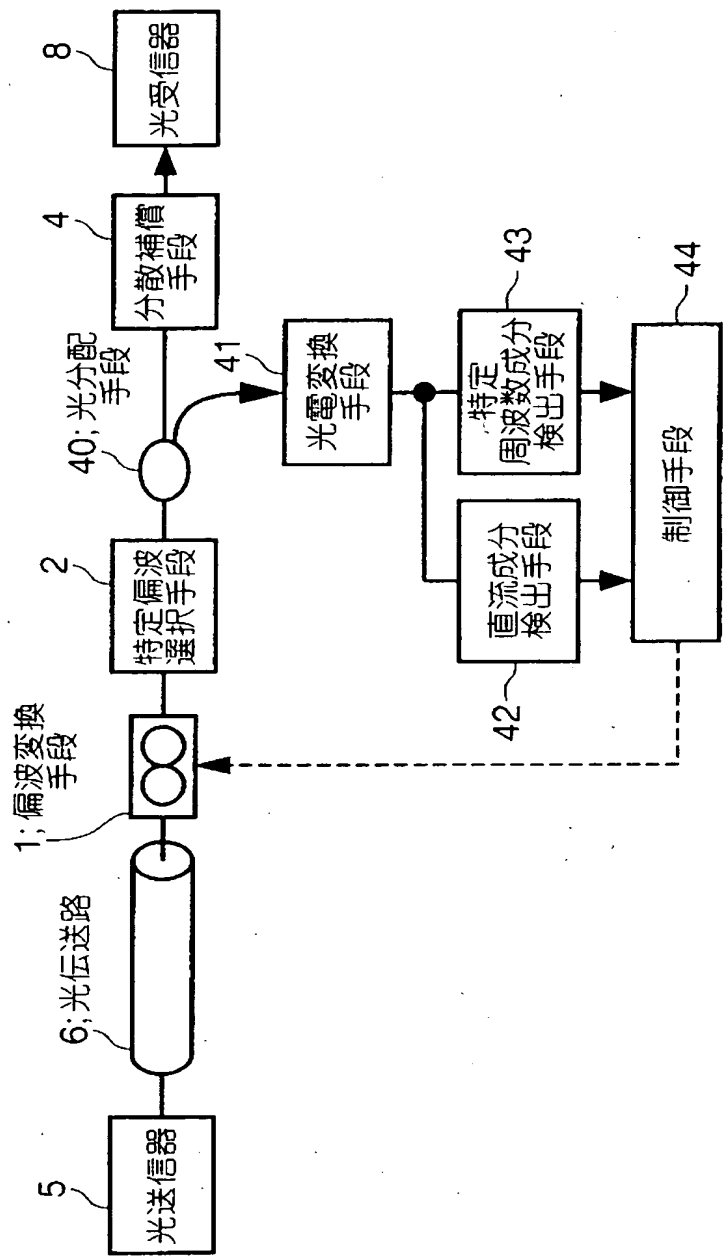
【図 5】



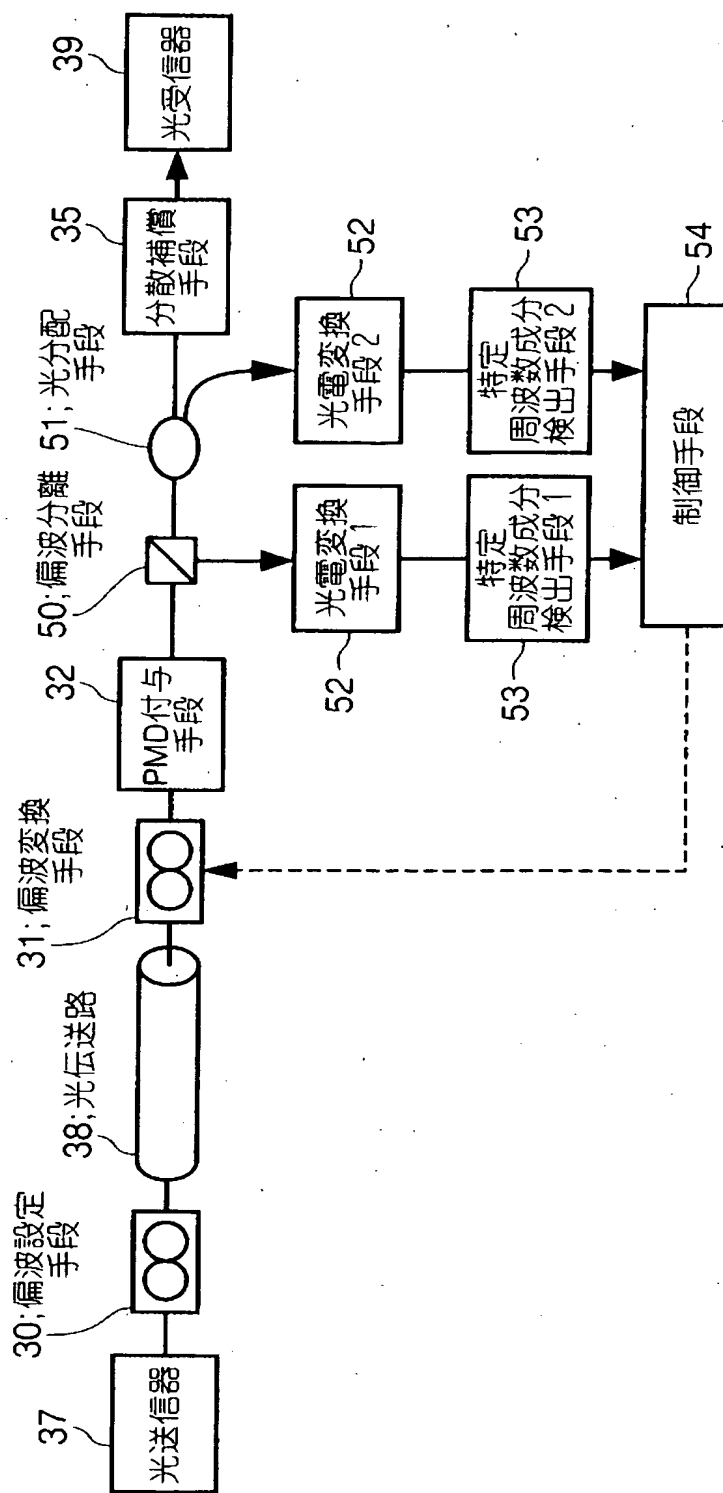
【図 6】



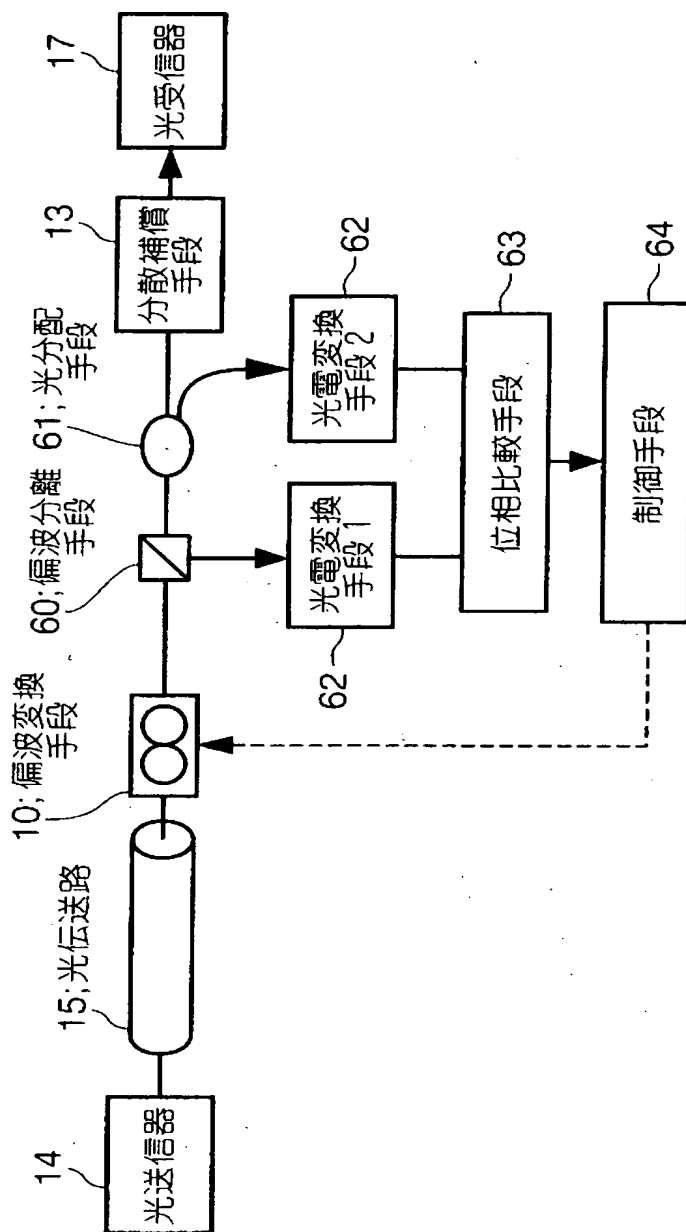
【図 7】



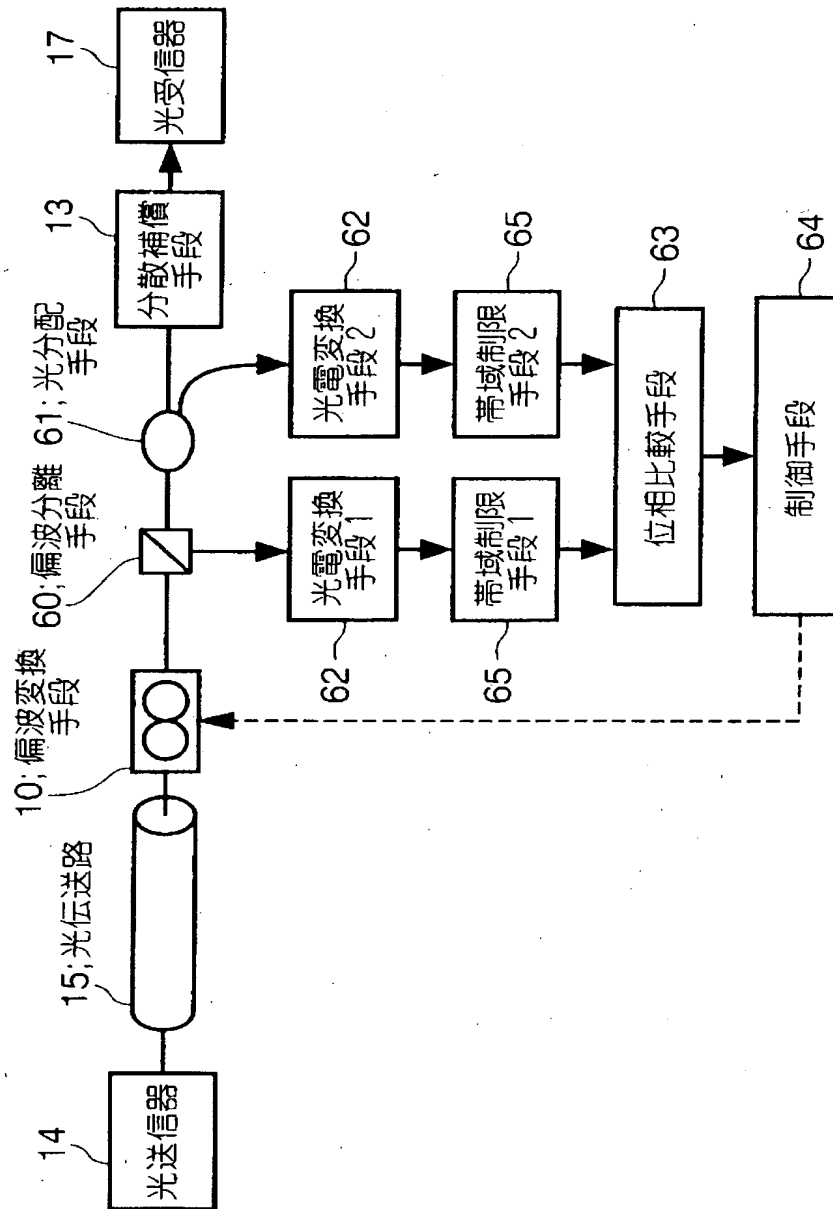
【図 8】



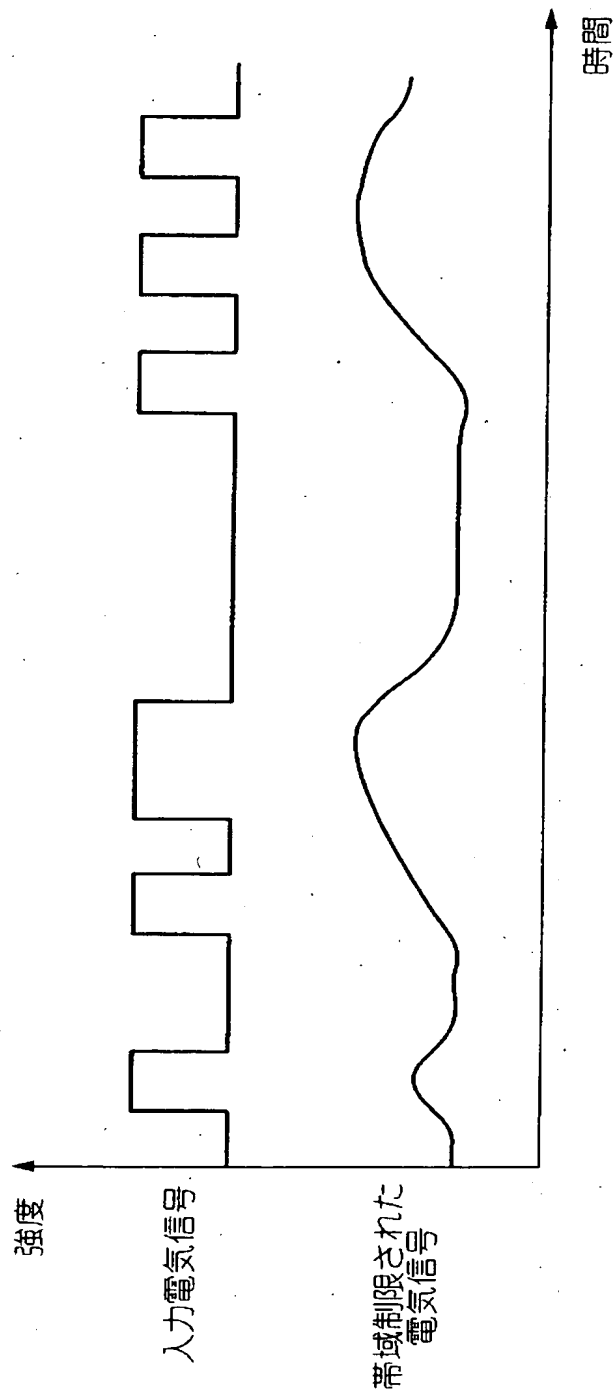
【図 9】



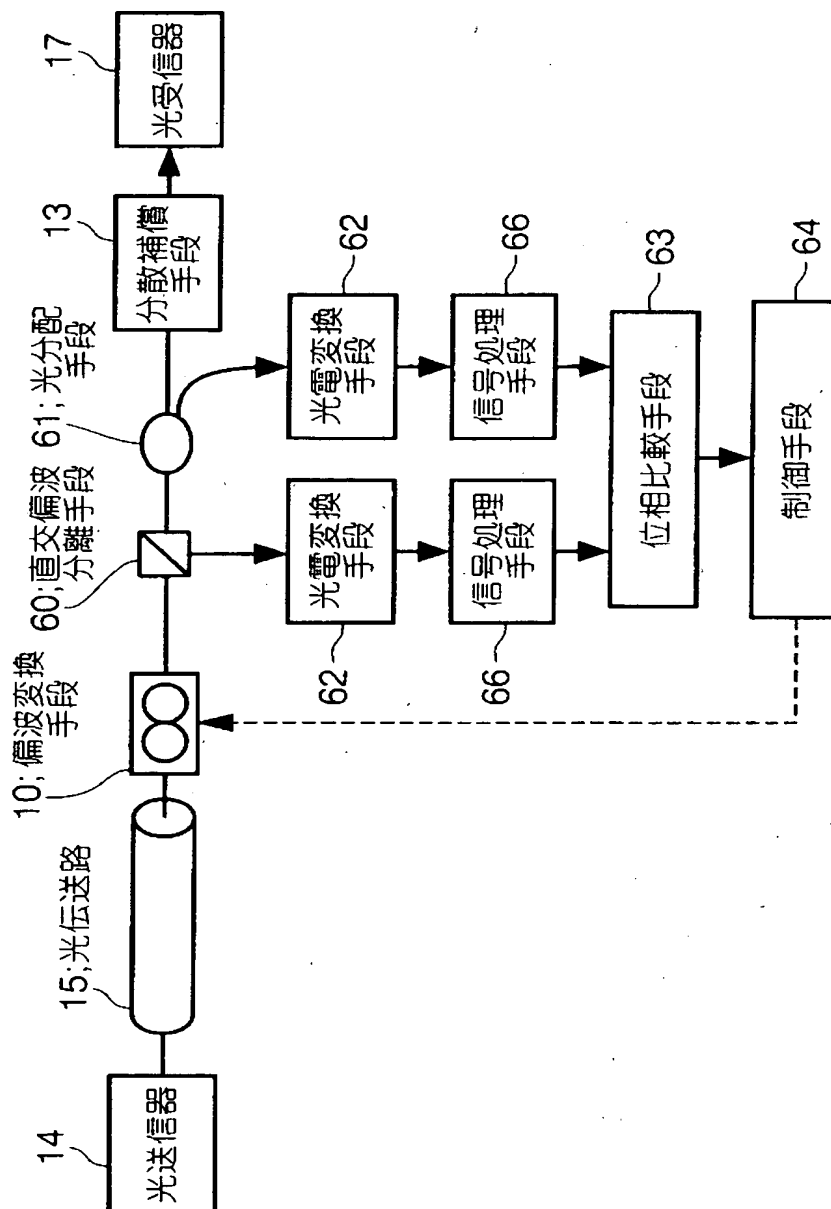
【図 10】



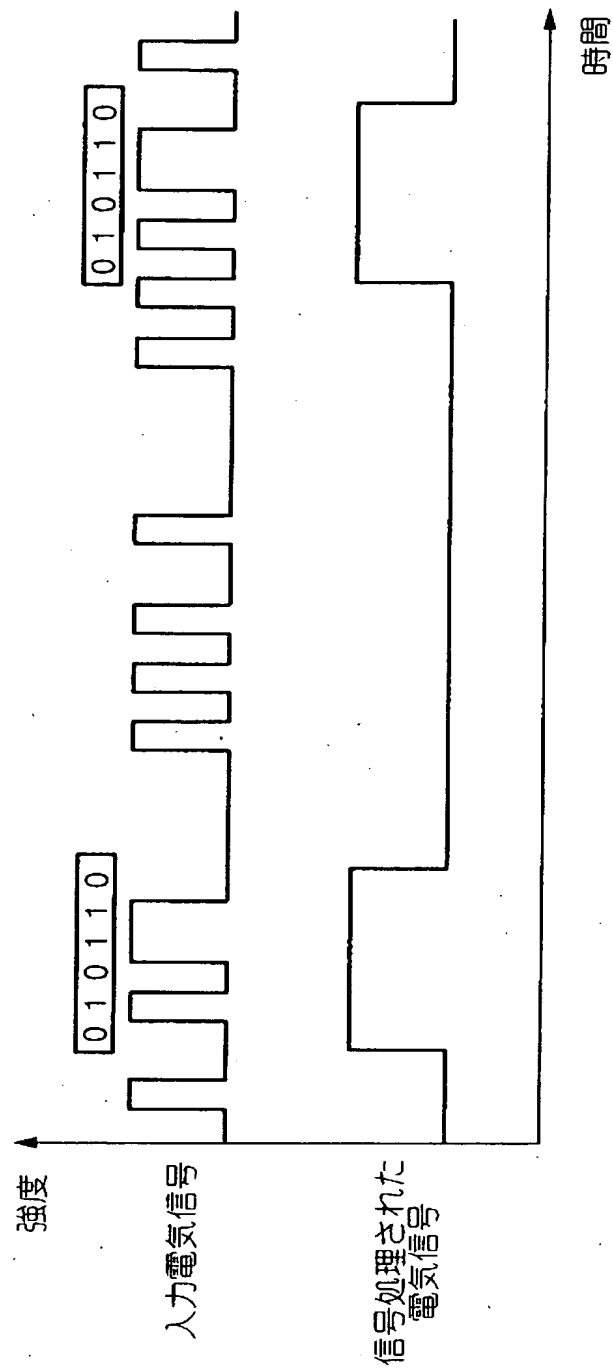
【図 11】



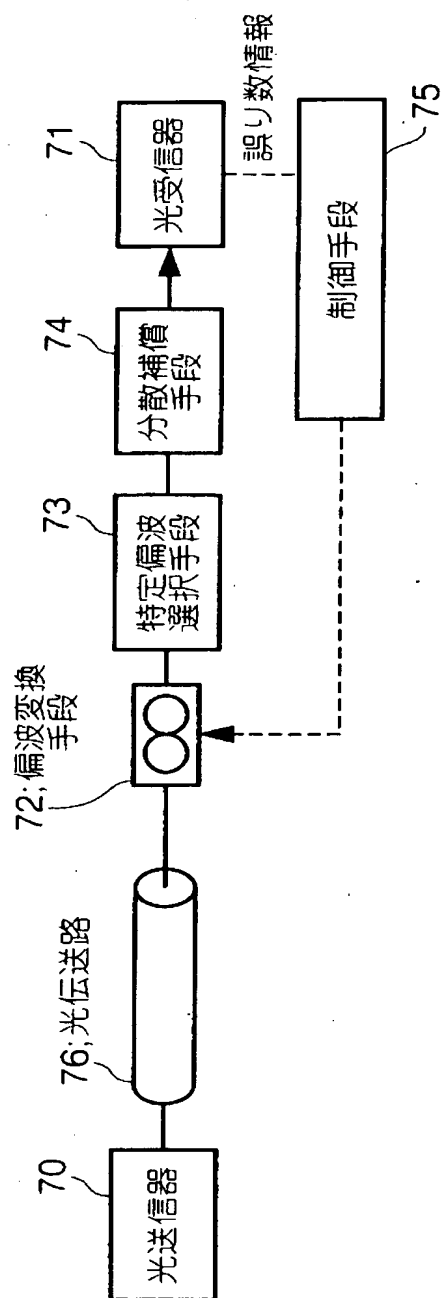
【図 12】



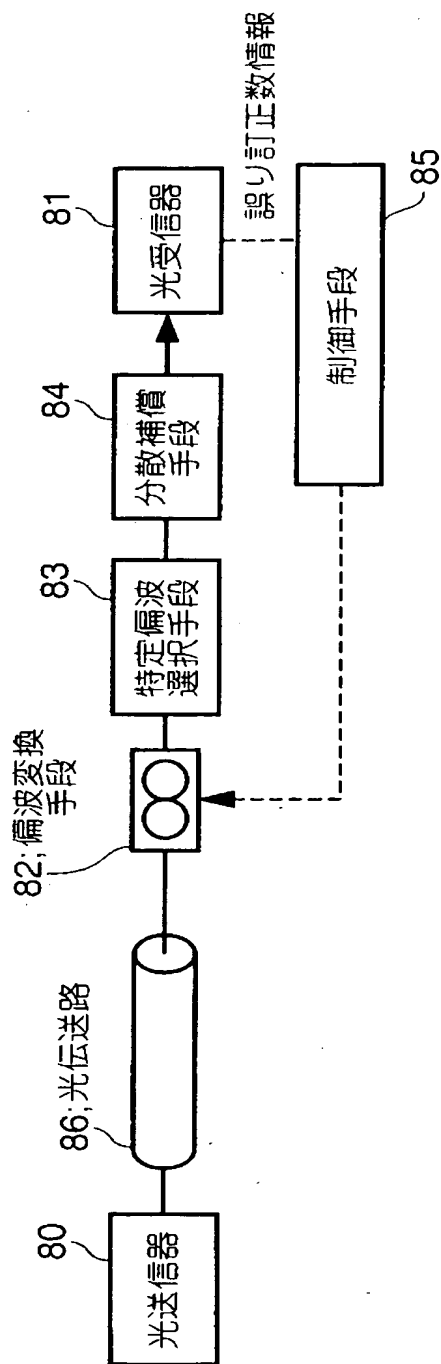
【図 13】



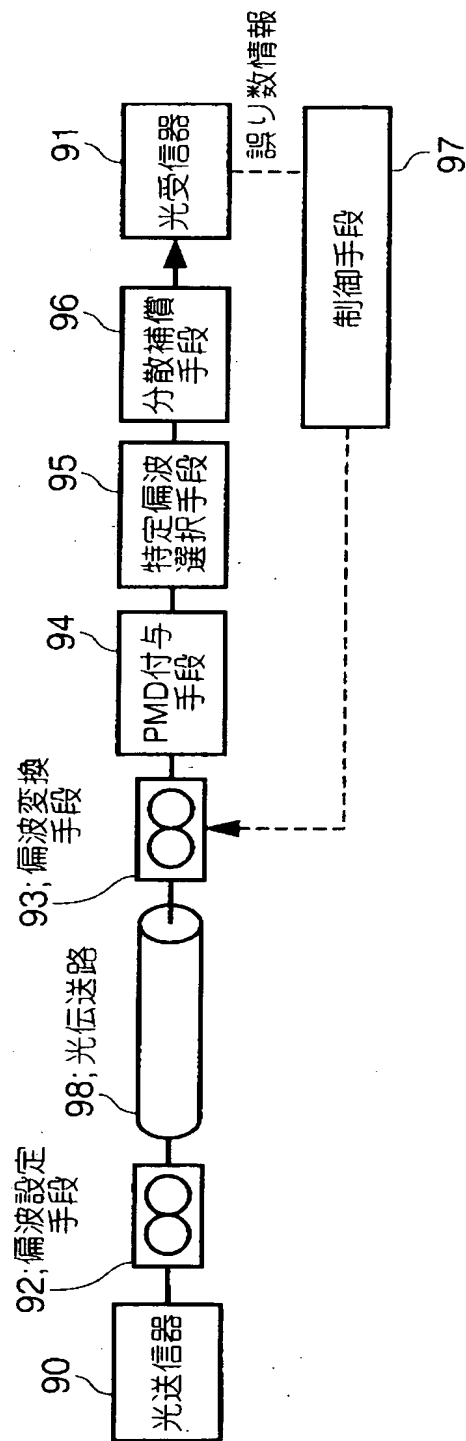
【図 14】



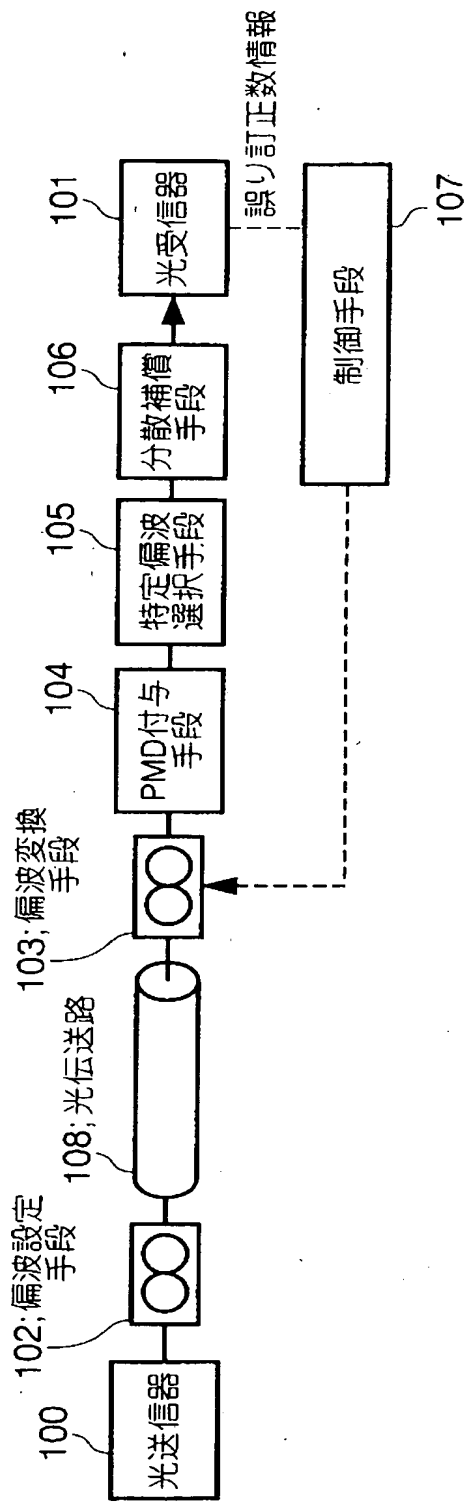
【図 15】



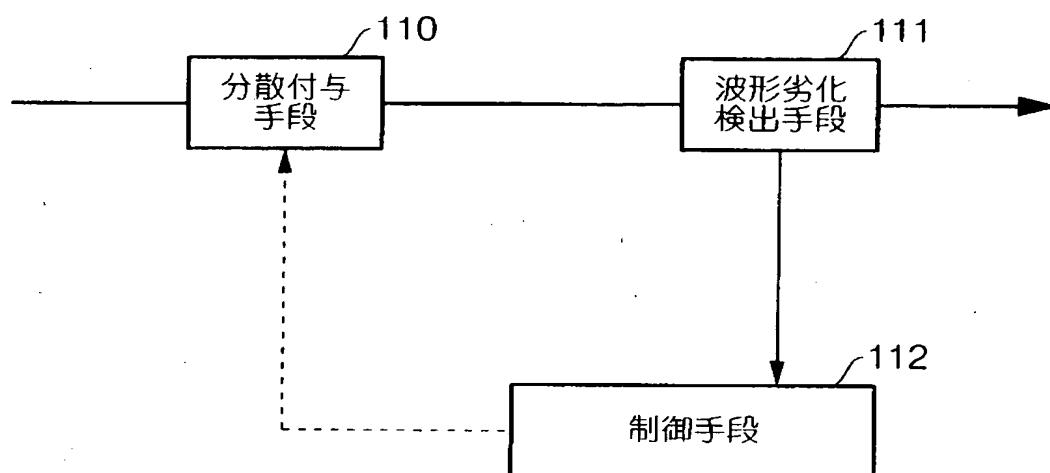
【図 16】



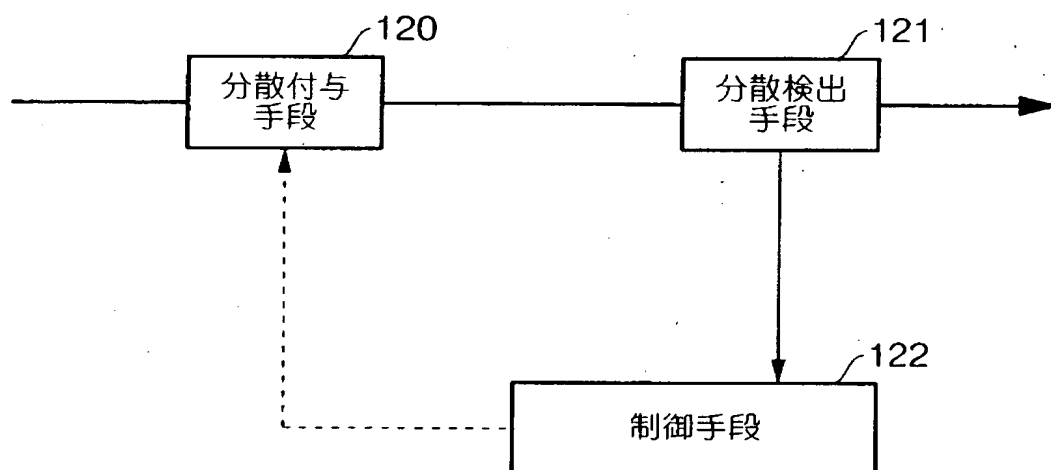
【図 17】



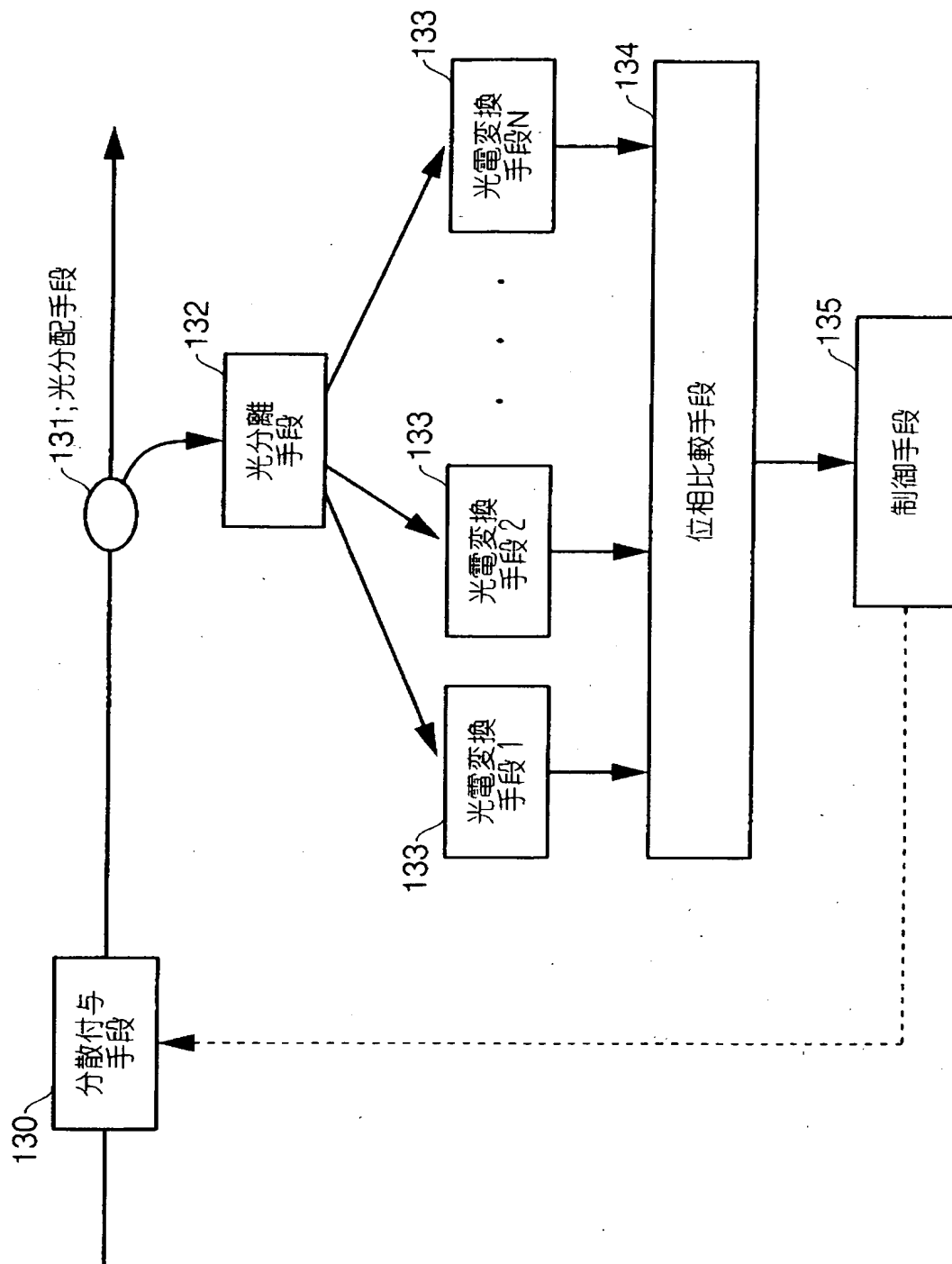
【図18】



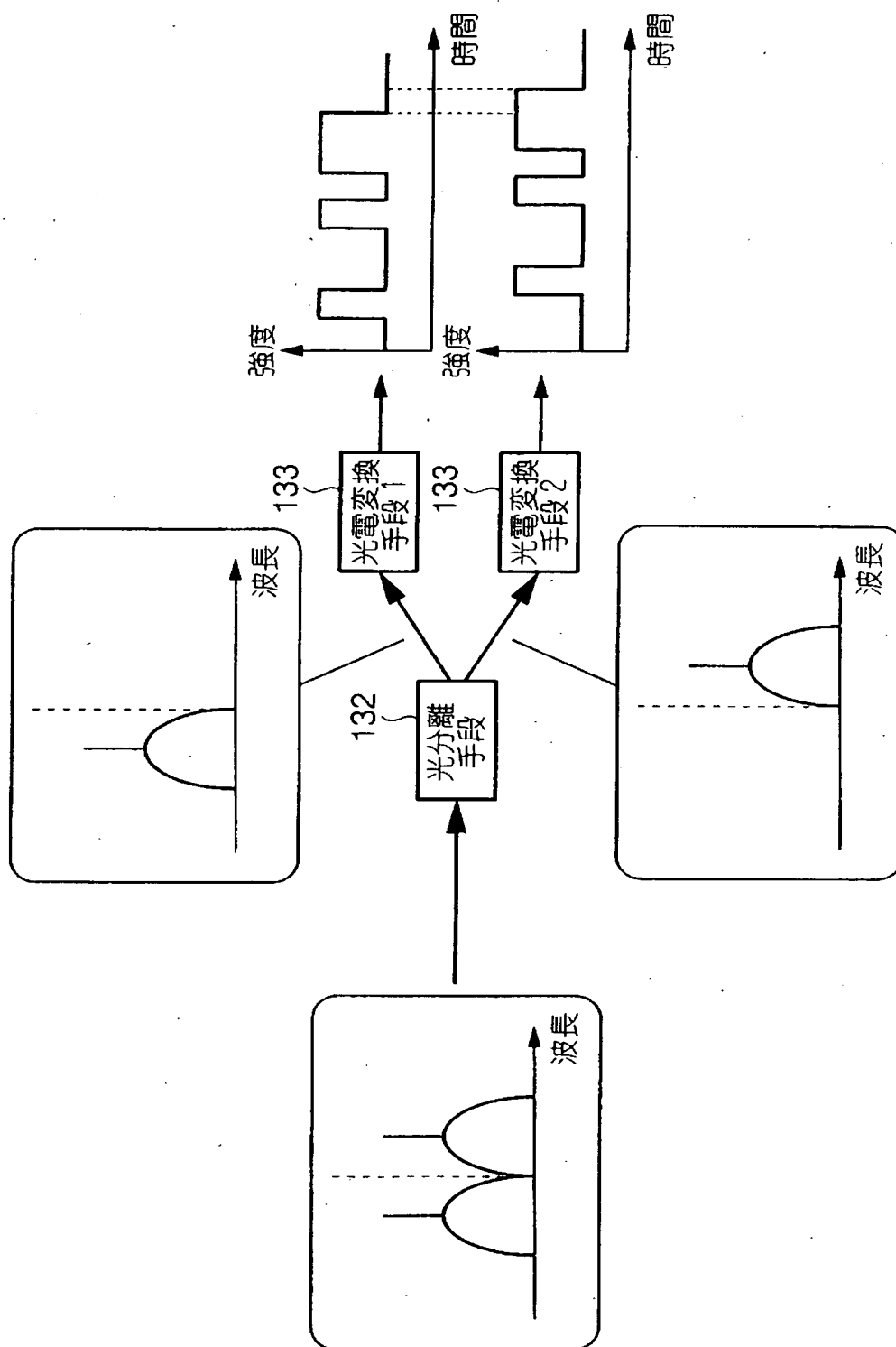
【図19】



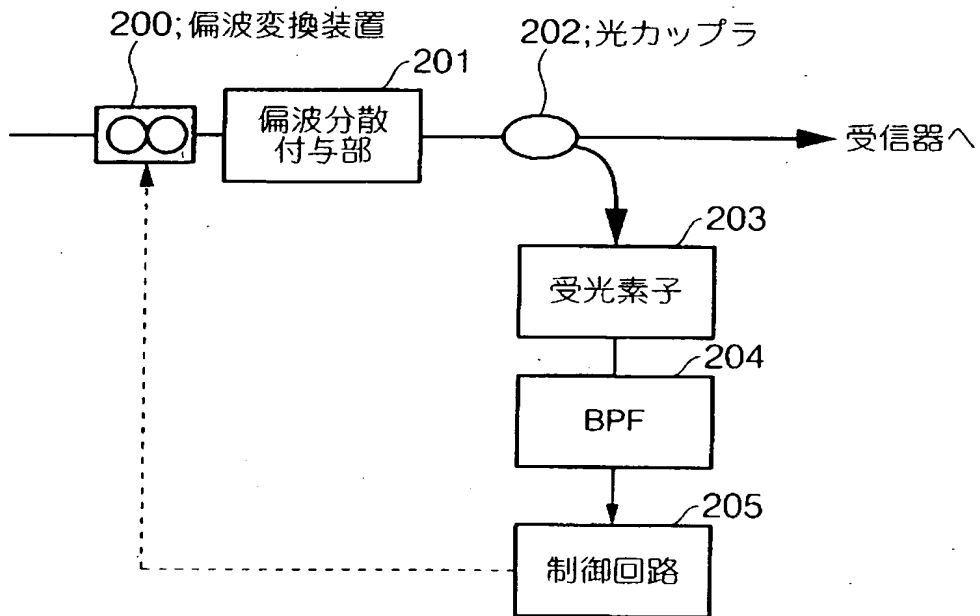
【図 20】



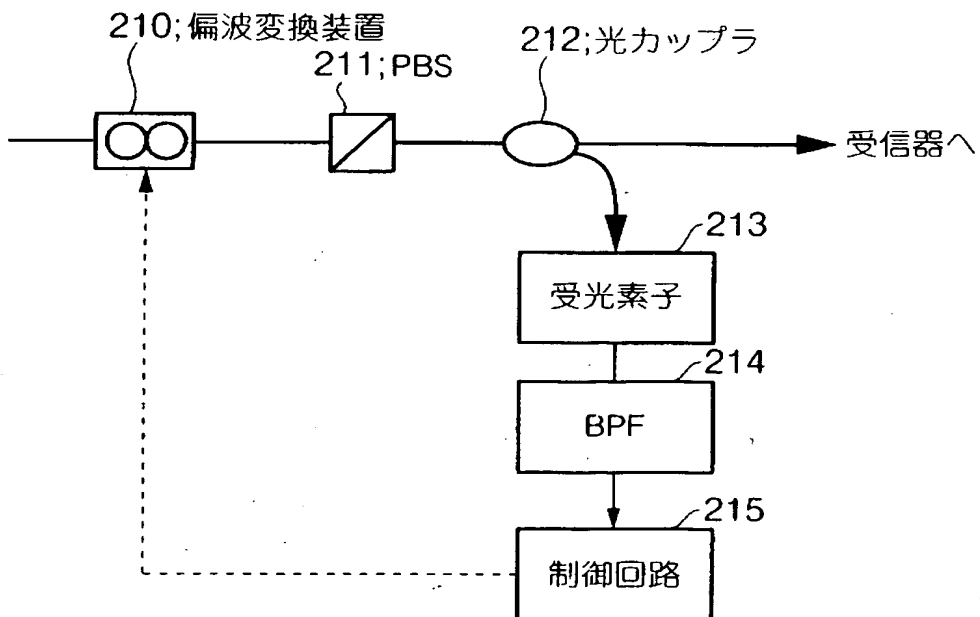
【図 21】



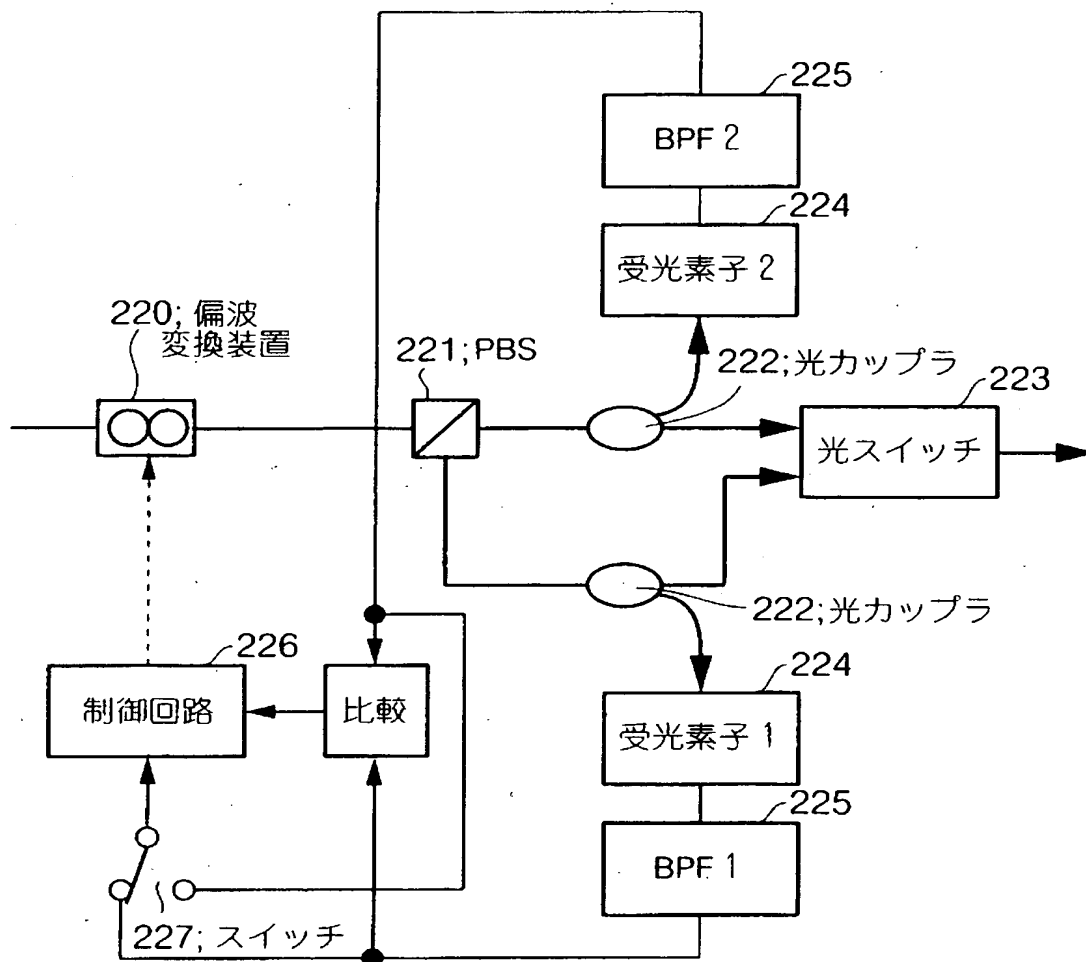
【図 2 2】



【図 2 3】



【図 24】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 光伝送路の偏波主軸が時間と共に変化する系においても、一次のPMDによる伝送品質劣化を補償DGD値に対する制限なく安定に補償することができる偏波モード分散補償方法及び偏波モード分散補償装置を提供する。

【解決手段】 光送信器5が送信する信号光は、光伝送路6を伝播し、偏波変換手段1を通過した後、特定偏波選択手段2に入力される。入力された信号光は、特定偏波選択手段2によって特定の偏波成分が分離される。波形劣化検出手段3は分離された信号光が入力されると、波形劣化を検出する。制御手段7は、検出した波形劣化に関する情報に基づいて、波形劣化が最小になるように偏波変換手段1を制御する。

【選択図】 図1

特願 2002-237490

出願人履歴情報

識別番号

[000004226]

1. 変更年月日

1999年 7月15日

[変更理由]

住所変更

住 所

東京都千代田区大手町二丁目3番1号

氏 名

日本電信電話株式会社